

VŠB – Technická Univerzita Ostrava
Univerzitní studijní programy

Elektrické servořízení ZF pro vozidla koncernu VW
nové generace

New Generation Electrical Steering ZF for VW Group
Vehicles

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Vít Gintar**
Studijní program: **N3943 Mechatronika**
Studijní obor: **3906T007 Automobilová elektronika**
Téma: **Elektrické servořízení ZF pro vozidla koncernu VW nové generace**
New Generation Electrical Steering ZF for VW Group Vehicles

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte úvodní rešerši z oblasti principů řešení servořízení pro motorová vozidla.
2. Analyzujte podrobně CAN sběrnici vozidla koncernu VW se zaměřením na elektronický systém servořízení. Proveďte návrh a realizaci laboratorního stanoviště se vzorkem elektrického servořízení ZF.
3. Ověřte funkčnost realizovaného laboratorního modelu a dle pokynů vedoucího diplomové práce sestavte typizovanou laboratorní úlohu.
4. Vypracujte vzorový protokol k měření pro předmět Automobilová elektronika.

Seznam doporučené odborné literatury:

VLK, F.: Elektronické systémy motorových vozidel 1, 2. Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, Brno 2002, ISBN 80-238-7282-6
VLK, F.: Elektrická zařízení motorových vozidel. Prof. Ing. František Vlk, DrSc., nakladatelství a vydavatelství, Brno 2005, ISBN 80-239-3718-9
ŠTĚRBA, P.: Elektrotechnika a elektronika automobilů. Computer press, Praha, 2004
ERJAVEC, J.: Automotive Technology: A Systems Approach, 4th Edition, USA 2004, Thomson Learning, 1401 str., ISBN 1-4018-4831-1
RIBBENS, B., W.: Understanding Automotive Electronics, Sixth Edition, USA 2003, Elsevier Science, 480 str., ISBN 0-7506-7599-3
BOSCH technické brožury, žluté sešity 1996-2009

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Petr Šimoník, Ph.D.**

Datum zadání: 16.11.2012

Datum odevzdání: 15.05.2013


doc. Ing. Petr Palacký, Ph.D.
vedoucí katedry




prof. Ing. Petr Noskovič, CSc.
prorektor pro studium

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne 15. května 2013

.....

Podpis

2013

Stránka 2

Poděkování

Děkuji Ing. Petru Šimoníkovi, Ph.D. za hodnotné rady, odborné vedení a hlavně za čas, který mi věnoval během vedení mé práce.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá elektrickým servořízením ZF pro vozidla koncernu VW nové generace. V první části je zpracována teoretická rešerše v oblasti principů servořízení motorových vozidel. V následující části je analyzována sběrnice CAN Bus a je vytvořen laboratorní model servořízení ZF. V třetí části je ověřena funkčnost laboratorního modelu. V poslední části je zpracován vzorový protokol měření, který je umístěn do příloh. V závěru jsou shrnuty nové poznatky při práci se servořízením a je porovnáno vlastní měření s teoretickými předpoklady.

Abstract

This thesis deals with electric power steering ZF for VW new generation vehicles. The first part of this thesis focuses on the theoretical research of servo motor principles. The next part analyzes the CAN bus and presents the laboratory model of ZF power steering. The third part verifies functionality of the laboratory model. The last part of thesis includes sample measurement protocol which is attached in the Annexes. The final conclusion summarizes new knowledge for work with power steering and compares own measurement with theoretical basis.

Klíčová slova

CAN Bus, laboratorní model, řídicí jednotka, sběrnice, servořízení, USB2CAN adaptér

Keywords

CAN Bus, laboratory model, control unit, bus, power steering, USB2CAN adapter

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

CAN- Bus	Sériová sběrnice
CAN- comfort	Sériová sběrnice pro řídicí jednotky komfortu
CAN- H	Vodič CAN-Bus ve stavu high
CAN- L	Vodič CAN-Bus ve stavu low
CAN- motor	Sériová sběrnice pro řízení s vysokou rychlostí
CRC	Kontrolní pole bitů u CAN- Bus
ECU	Elektronická řídicí jednotka
EOBD	European On BoardDiagnostic (Evropská palubní diagnostika)
EPHS	Elektrohydraulické servořízení
EPS	Elektronické servořízení
GND	Označení zemního vodiče nebo mínus pólu
HPS	Hydraulické servořízení
ID	Identifikátor CAN- Bus
ISO	International Organization for Standardization (Mezinárodní organizace pro standardizaci)
LIN Bus	Jednovodičová sběrnice
PP2CAN	Software pro diagnostiku sběrnice CAN
PWM	Pulzně šířková modulace
RAM	Random-accessmemory (Paměť s přímým přístupem)
RTR	Bit s datovou zprávou nebo žádost o data CAN- Bus
Rx	Receiver (Přijímač)
SUV	Kategorie aut do lehčího terénu
TTL	Tranzistorová logika s tranzistory
Tx	Transmitter (Vysílač)
USB	Universal Serial Bus (Univerzální sériová sběrnice)
USB2CAN	Adaptér k software P2PCAN
%	Procenta
-	[°] Úhel
C	[Ah] Kapacita akumulátoru
Bd	[bit/s] Přenosová rychlost
I	[A] Elektrický proud
M	[Nm] Točivý moment
n	[ot/min] Otáčky
P	[W] Výkon
R	[Ω] Elektrický odpor
S	[mm ²] Obsah
s	[mm] Délka
t	[s] Čas
U	[V] Elektrické napětí
v	[km/h] Rychlost

Obsah

1	Úvod.....	7
2	Servořízení	8
2.1	Hydraulické servořízení HPS.....	8
2.2	Elektrohydraulické servořízení EPHS	10
2.3	Elektronické servořízení EPS.....	11
2.3.1	ZF na sloupku řízení (Servo Unit on the Steering Column)	13
2.3.2	ZF s dvojitým pastorkem (Servo Unit on a Second Pinion)	14
2.3.3	ZF paralelních os (Paraxial Servo Unit).....	15
2.3.4	Řídicí jednotka ZF	16
2.3.4	Snímač točivého momentu.....	18
3	Komunikace na vozidle a modelu	20
3.1	CAN Bus	20
3.2	Hardwarové řešení CAN Bus.....	21
3.3	Protokol komunikace	22
3.4	Software a hardware pro analýzu komunikace s vozidlem	24
3.5	Nahrání komunikace z automobilu Škoda Octavie II	26
3.6	Analýza CAN zprávy Škoda Octavie II	27
4	Tvorba modelu elektronického servořízení ZF	29
4.1	Tvorba přídatného rámu	29
4.2	Přidržovací jezdec	30
4.3	Pojistkový odpojovač	31
4.4	Volba napájecího zdroje	32
4.5	Ovládání servořízení	32
4.6	Konečná podoba modelu.....	32
5	Měření na vozidle a modelu.....	35
5.1	Sériová diagnostika.....	35
5.2	Paralelní diagnostika	36
5.3	Měření odebíraného proudu na modelu EPS	36
5.3.1	Měření klešťovým ampérmetrem CEM DT-9701	38
5.3.2	Měření pomocí Bosch FSA 740.....	40
5.4	Zobrazení CAN zprávy	44
5	Závěr	45
	Seznam použité literatury:	47
	Seznam obrázků	49
	Seznam tabulek	50
	Seznam příloh	51

1 Úvod

Pojmem servořízení lze označit elektrické nebo hydraulické zařízení, které sníží otáčecí sílu, potřebnou k změně směru, neboli otočení volantu. Při otočení volantu u vozidel s přední nápravou musí řidič vyvinout velkou sílu pro otočení kol zejména na místě. V dnešních vozidlech je standardem použití posilovače řízení neboli servořízení. Toto zařízení se vyskytuje v každém moderním vozidle a musí se plně přizpůsobovat řidiči a dané jízdní situaci. V parametrech servořízení nesmí být opomenuta hmotnost zařízení, složitost konstrukce, dynamické vlastnosti a kazivost. Posilovací účinek se mění v závislosti na rychlosti, má správnou citlivost a rychlost reakce, tak aby nedošlo k nehodě automobilu, zachovala se jistota řidiče a stabilita automobilu. Při změně rychlosti se nedovoluje velké natočení kol tak, aby nedošlo k převrácení automobilu. Servořízení komunikuje hlavně po sběrnici CAN s řídicí jednotkou automobilu a různými snímači, kde je potřeba znát rychlost vozidla, otáčky motoru, údaje stabilizačního systému, aby se zachovala pasivní bezpečnost vozidla. Současný trend chce eliminovat pevnou vazbu mezi řidičem a koly tak, aby se zavedlo X by wire (např. steer by wire).

V této diplomové práci budou probrány vlastnosti a typy servořízení, budou rozebrány do podrobných detailů. Dále bude analyzována sběrnice CAN v automobilu škoda Octavie II nebo Volkswagen Golf V. Při řízení automobilu prochází velká spousta dat, ale jen některá patří pro servořízení, proto je třeba provést analýzu dat sběrnice CAN. Poté bude sestaven model elektronického řízení ZF a připraví se ukázková úloha pro laboratorní měření.

2 Servořízení

V této kapitole bude uveden výčet vlastností a typů servořízení. V anglickém jazyce se označuje servořízení jako „powered steering“. Dnešní vozidlo se bez servořízení neobejde, protože řidič automobilu vyžaduje bezpečnou a komfortní jízdu bez velké ovládací síly řidiče. Při výpadku systému musí být zachována pevná mechanická vazba mezi řidičem a koly tak, aby se zajistila stálá ovladatelnost vozidla. Současný trend se ubírá směrem, aby vymizela mechanická vazba mezi řidičem a vozidlem. Tento systém je variabilně proměnlivý tak, aby co nejlépe vyhovoval řidiči. Řidič má možnost měnit charakteristiku řízení např. sport nebo komfort. Konstrukční myšlenka a provedení systému drive by wire je v konfliktu s bezpečností, protože v případě nehody není zachována pevná vazba mezi řidičem a koly. Tento systém se vybavuje jinými prvky bezpečnosti při poruše zařízení proto, aby byla zachována jeho částečná funkčnost. Servořízení se rozděluje podle třech základních konstrukcí na:

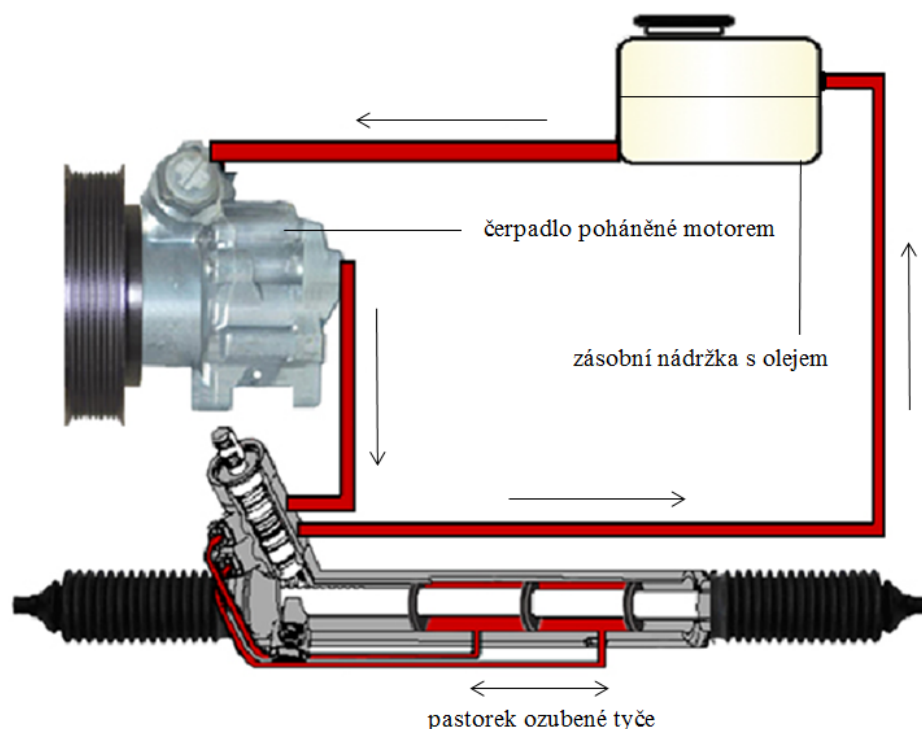
- hydraulické servořízení,
- elektrohydraulické servořízení,
- elektronické servořízení. [17]

2.1 Hydraulické servořízení HPS

Hydraulické servořízení s hřebenovým řízením je dříve nejpoužívanějším systémem, který se používá v automobilu pro snadné ovládání změny směru jízdy. Princip servořízení s hřebenovým řízením spočívá na hydraulické bázi, kterou vytváří tlak kapaliny tak, aby řidiči usnadnil manipulaci s volantem. Ve většině případů se používá křídlový nebo zubový typ čerpadla, který pohání drážkový řemen přímo od motoru. U menších objemů válců automobilu snižuje hydraulické servořízení výkon motoru a varianta HPS má vysoké výrobní náklady. Skládá se z hydraulického válce s pístem a ozubené torzní tyče, které jsou spojeny. Prouděním kapaliny v hydraulickém válci pomocí pístu na obě strany vzniká tlakový spád, který posouvá ozubenou tyč a natáčí kola podle potřeby. Ozubená tyč je na jedné straně spojena s pastorkem, pouzdem rozváděcího ventilu a na druhé straně zapadá do volantového hřídele. O směr natočení rozhoduje hydraulická řídicí jednotka. Při jízdě bez natočení kol se nachází pouzdro rozváděcího ventilu a volantová hřídel ve střední poloze. V této chvíli

nepůsobí žádný točivý moment způsobený torzní tyčí a tlak kapaliny od čerpadla se vrací do vyrovnávací nádobky. Když se změní poloha volantové hřídele, natočí se torzní tyč, která mění polohu pouzdra rozváděcího ventilu. Při jiné než neutrální poloze pouzdra rozváděcího ventilu, kapalina proudí na danou stranu v hydraulickém válci. Nevýhoda běžného hydraulického servořízení spočívá v omezené změně posilovacího účinku, vysoké ceně, sníženém výkonu motoru, vyšší spotřebě, neustálém provozu, takže hrozí vznik netěsností a tento systém pak nemá možnost propojení s komfortními prvky. Při vzrůstající rychlosti se požaduje snížení krouticího momentu, řidič musí v této situaci na volant vynaložit větší ovládací sílu. Při vysoké rychlosti a změně natočení kol je posilovací účinek snížen z důvodu vyšší bezpečnosti jízdy a stability vozidla.

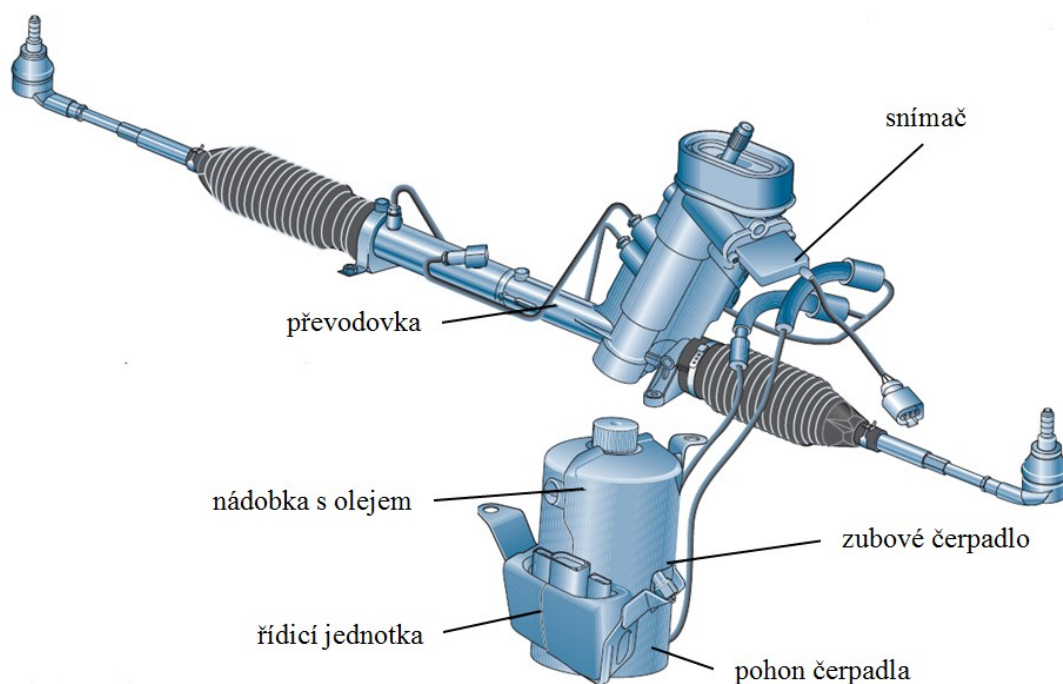
Později u hydraulického servořízení vznikla varianta Servotronic, která mění posilovací účinek v závislosti na rychlosti. Do řídicí jednotky vstupuje ještě signál rychlosti vozidla a tlaku oleje, aby se v případě potřeby snížil tlak oleje. Při nízkých rychlostech zůstává tlak oleje stejný a nedochází k odtoku oleje. Regulace průtoku oleje se provádí pomocí magnetického ventilu, který mění svůj průtok vlivem řídicího elektrického proudu. Ovládací síla řidiče stoupá na horní hranici určenou výrobcem, dále se nemění i přes další zrychlování automobilu. [7, 8, 10]



Obrázek 1 Hydraulické servořízení [1]

2.2 Elektrohydraulické servořízení EPHS

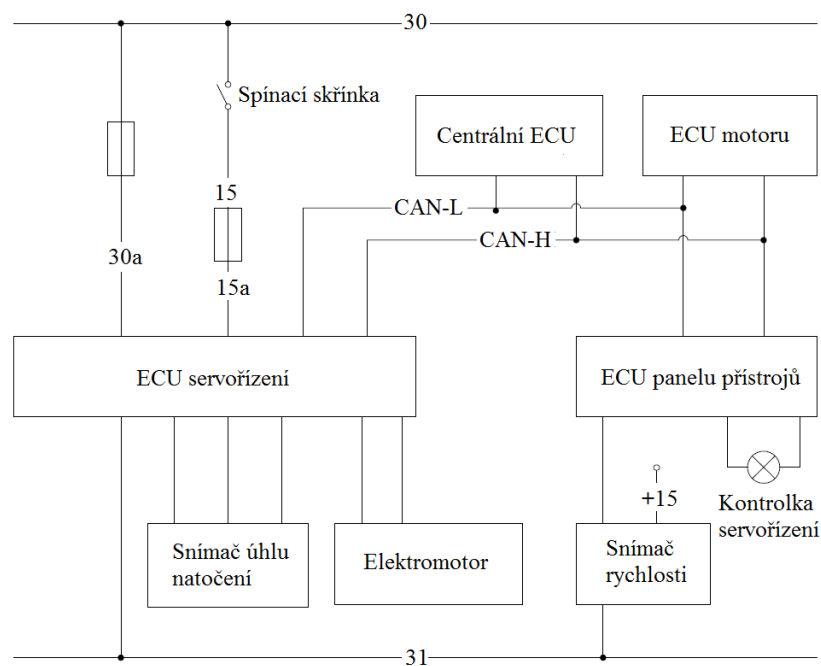
V principu má elektrohydraulické servořízení EPHS stejný základ jako hydraulické servořízení HPS. Proudění kapaliny v hydraulickém válci zůstává stejné, ovládá natáčení kol. Na rozdíl od hydraulického servořízení, dodává tlak oleje elektromotor, který nahrazuje čerpadlo roztáčené motorem. Ve většině případů se spojuje vyrovnávací nádobka s elektromotorem. Čerpadlo s elektrickým pohonem má nespornou výhodu v tom, že není stále v provozu, ale jen v situaci otočení hřídele volantu. Řídicí jednotka EPHS vyhodnocuje vstupní signály otáček motoru, rychlost vozidla a rychlost otáčení hřídele volantu. V malých rychlostech zůstává posilovací účinek stejný, ale při zvyšování rychlosti se snižuje. V řídicí jednotce se vyhodnotí potřebný spouštěcí signál k roztočení čerpadla závislého na rychlosti otáčení volantovou hřídelí a eventuálně vyhodnotí poruchu. V tomto posilovači řízení se vyhodnocuje v závislosti na rychlosti reakční doba posilovače, stav a povrch vozovky tak, aby chování servořízení bylo optimální. Dále se dá tento systém přizpůsobit požadavkům zákazníka např. podle výbavy vozidla. Toto servořízení vykazuje nevýhody jako složitost konstrukce, vysoká cena, velká pravděpodobnost netěsnosti a např. v komfortních systémech automobilu ho nelze propojit k možnosti samočinného parkování. [8]



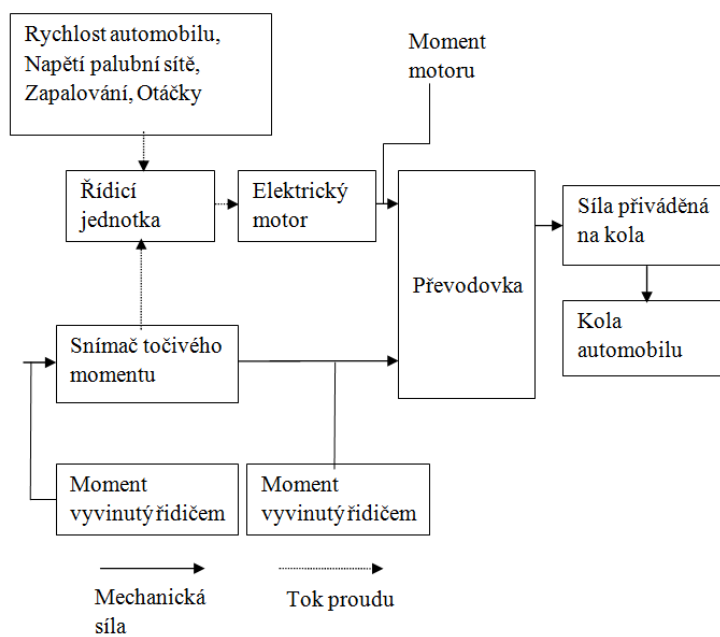
Obrázek 2 Elektrohydraulické servořízení [4]

2.3 Elektronické servořízení EPS

U systému EPS přebírá funkci hydrauliky elektromotor a dodává posilovací účinek hřebenovému řízení. Systém funguje zcela bez závislosti na motoru vozidla, to znamená, že asistenci napájení lze přizpůsobit jakémukoli typu vozidla. Snímají se tyto parametry - síla působící na volantovou hřídel, rychlost vozidla, otáčky motoru, úhel natočení volantu a otáčky servomotoru. Na volantové hřídeli se snímá úhel řízení, točivý moment řízení, rychlost řízení vyvolaná řidičem. Dále se snímají parametry rychlost vozidla a otáčky motoru, které se korigují tlumící charakteristikou závislou na nerovnostech vozovky uloženou v řídicí jednotce. Řídicí jednotka EPS vyhodnotí uvedené parametry a dodá potřebný krouticí moment k natočení kol. Potřebný točivý moment motoru se řídí zdrojem elektrického proudu. Posilovací účinek se snižuje se zvyšující se rychlostí vozidla. Např. při parkování je zachován vysoký komfort, k otočení volantu stačí řidiči malá síla. Naopak při vysoké rychlosti se snižuje krouticí moment. Tímto způsobem se znatelně zlepšují jízdní vlastnosti vozidla, protože elektrické ovládání perfektně reaguje na dynamiku a používání vozidla. Zohledňují se i vibrace kol, boční vítr, malé změny natočení kol, nevyvážení pneumatik a sklon vozovky. Výrobek servořízení ZF se snadno integruje do vozidla díky rychlé montáži a je dobře adaptabilní ve vozidle. Z hlediska bezpečnosti se při poruše zachovává mechanická vazba mezi koly a volantem. EPS je stále v pohotovosti a jen v případě natočení volantové hřídele reaguje na změnu a vyvolá správný krouticí moment. Ve variantě EPS se nesnižuje výkon motoru, snižuje se spotřeba automobilu a v porovnání s hydraulickým servořízením spotřebovává o 90 % méně energie, zmenšuje se zastavěný prostor a snižují se emise. Příslušný systém se propojuje s dalšími systémy jako elektronická stabilizace podvozku, udržování vozidla v jednom jízdním pruhu, asistent ke změně jízdního pruhu a samočinné parkování. Řidič nastavuje různé parametry mechanicky, akusticky a vizuálně.



Obrázek 3 Zjednodušené schéma zapojení EPS



Obrázek 4 Princip elektronického servořízení [18]

Na obrázku 4 Princip elektronického servořízení je vidět, že řídicí jednotka snímá rychlost vozidla, otáčky motoru, palubní napětí a zapnuté zapalování, která ještě zkoriguje s točivým momentem, vyvinutým řidičem, snímaný polohovým snímačem. Poté vyšle řídicí proud do stejnosměrného sériového motoru, který přes převodovku vydá potřebný silový účinek kolům.

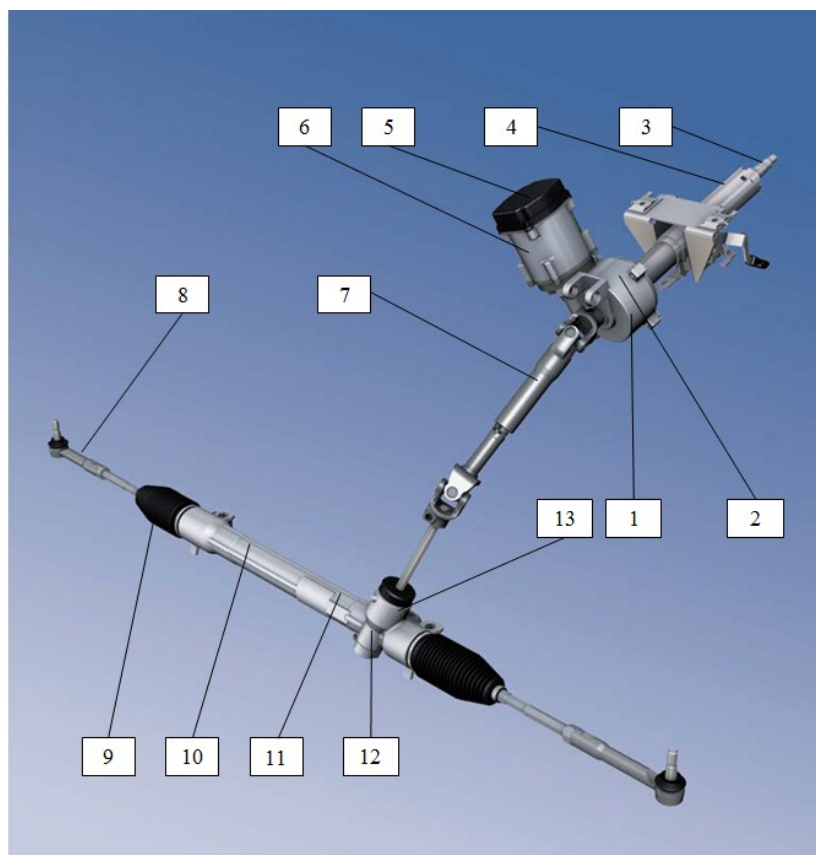
Elektronické servořízení ZF se skládá ze třech základních konstrukcí:

- sloupek řízení,
- pastorková konstrukce,
- paralelní osa.

[3, 5, 9]

2.3.1 ZF na sloupku řízení (Servo Unit on the Steering Column)

Tento typ servořízení se montuje do vozidel nižší třídy. Servořízení a řídicí jednotka se integruje do sloupku řízení. Senzory a torzní tyč jsou umístěny vedle šnekového soukolí. Točivý moment produkovaný elektromotorem se převádí přes kloubovou vazbu na středovou hřídel, která se spojuje přes šnekové soukolí s hřebenovým řízením. Díky vysoké tuhosti, dobré efektivitě a nízké hmotnosti je tento typ servořízení často využíván. Převodový poměr řízení je v závislosti na rychlosti konstantní nebo proměnlivý.



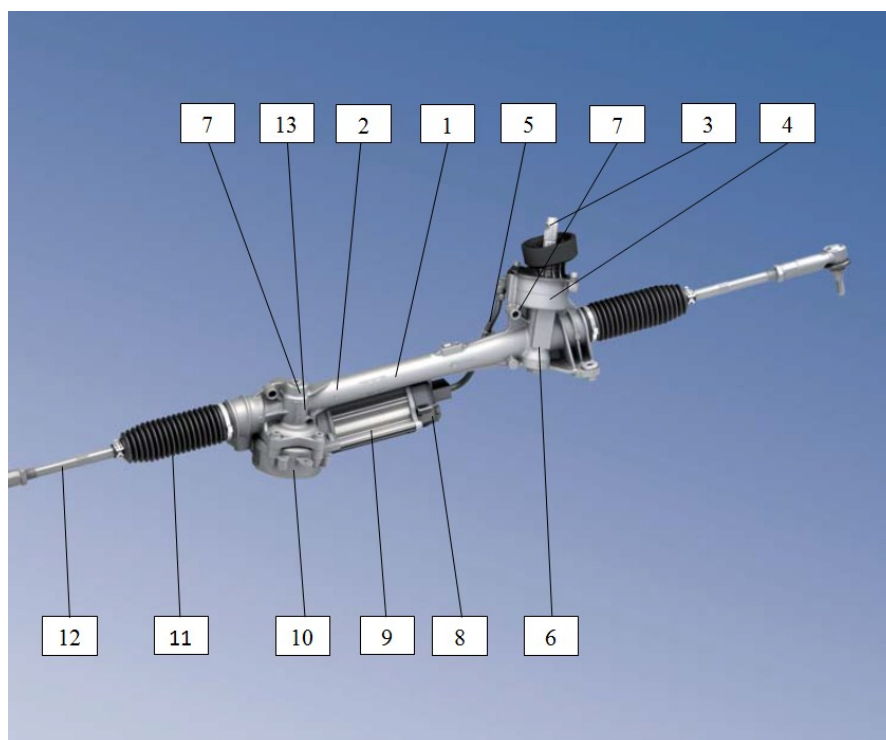
Obrázek 5 Servořízení ZF na sloupku řízení [18]

Popis obrázku

1 - Šneková převodovka, 2 - Snímač točivého momentu, 3 - Ozubení pro volant
4 - Horní sloupek řízení, 5 - Elektronická řídicí jednotka, 6 - Elektromotor
7 - Řídicí vložená hřídel, 8 - Spojovací tyč řízení, 9 - Manžeta, 10 - Hřeben řízení,
11 - Pouzdro, 12 - Hnací pastorek, 13 - Sedlo

2.3.2 ZF s dvojitým pastorkem (Servo Unit on a Second Pinion)

Servořízení s dvojitým pastorkem se integruje do vozidel střední a vyšší střední třídy. U tohoto provedení se odděluje senzor a řídicí jednotka. Skutečnost, že poměr hnacího pastorku je nezávislý na převodovém poměru řízení, vytváří možnost konfigurace pro optimální výkonnost. Zvýšení výkonnosti systému se pohybuje ve výši 10 – 15 % a zároveň menší zástavbový prostor zaručuje vysokou bezpečnost proti nárazům. Tento typ servořízení se přizpůsobuje dané aplikaci tak, že umožňuje rotaci o 360 stupňů kolem os kloubu a hnacího pastorku. Elektromotor přenáší točivý motor přes šnekové soukolí na hřeben řízení. Při přenosu točivého momentu se musí brát zřetel na výkon a komfort. K dosažení těchto požadavků se musí zajistit, aby zuby šneku a dosedající šroub neměly vůli a to po celou dobu životnosti zařízení. Pro tento účel se vyvinul pružinový tlumič, který zajišťuje šneku optimální zatížení v každé řídicí situaci. Pro pohyb šneku se instaluje fixní kuličkové ložisko, které se umísťuje v konkávním ocelovém kroužku. Může tak vstřebat vysoké axiální i radiální zatížení a zároveň se volně pohybovat.



Obrázek 6 Servořízení ZF s dvojitým pastorkem [18]

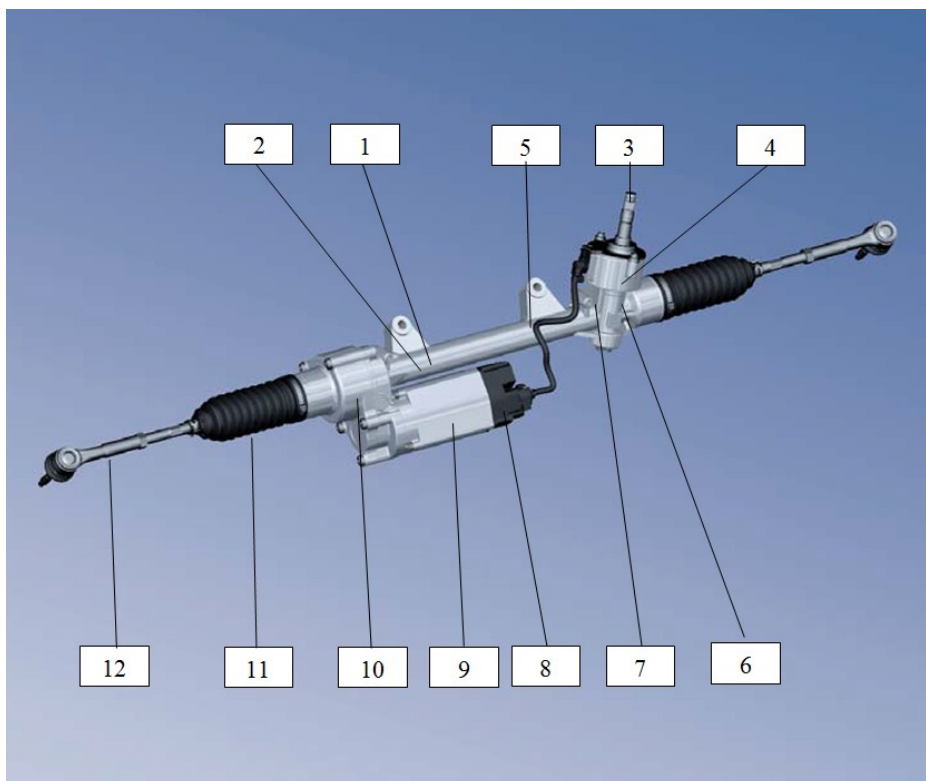
Popis obrázku

- 1 - Pouzdro, 2 - Hřeben řízení, 3 - Vstupní připojovací hřídel,
- 4 - Snímač točivého momentu, 5 - Vodič pro snímač, 6 - Řídící pastorek, 7 - Sedlo,
- 8 - Elektronická řídicí jednotka, 9 - Elektromotor, 10 - Šnekové převodovka,
- 11 - Manžeta, 12 - Spojovací tyč řízení, 13 - Hnací pastorek (druhý pastorek)

2.3.3 ZF paralelních os (Paraxial Servo Unit)

ZF paralelních os se vyznačuje nízkým třením, nízkým hlukem, vysokou přesností s rychlou odezvou a vysokou účinností. Dostupné aplikace pro zákazníka se vyrábějí od dynamických sportovních vozidel, vozidel vyšší střední třídy a vozidel s vysokými nároky na zátěž. Velké množství možností umístění servořízení umožňuje optimální využití zástavbového prostoru vozidla. Tím tento řídicí systém pomáhá dosáhnout vysokých požadavků na bezpečnosti proti nárazům, které dnešní automobilový průmysl vyžaduje. K přenosu otáčivého pohybu elektromotoru na přímý pohyb hřebenu řízení se využívá řemen a otočné kuličkové ložisko, která se ideálně přizpůsobují jízdnímu režimu zákazníka. Otočné kuličkové ložisko má uvnitř kuličkový

řetěz, který pohání závitovou tyč v kuličkové otočné matici. ZF paralelních os pružně reaguje na jakékoliv technické prostředí a situaci řízení.



Obrázek 7 Servořízení ZF paralelních os [18]

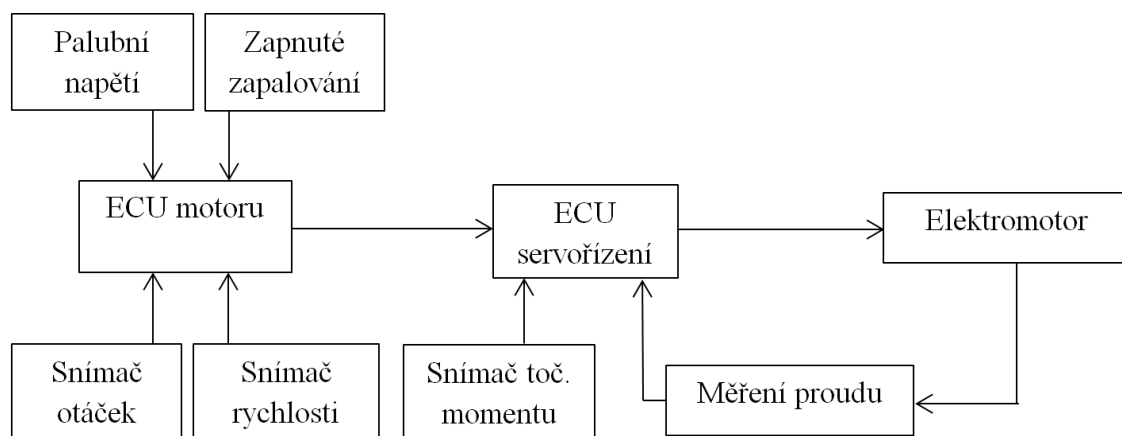
Popis obrázku

- 1 - Pouzdro, 2 - Hřeben řízení, 3 - Vstupní připojovací hřídel,
- 4 - Snímač točivého momentu, 5 - Vodič snímače, 6 – Řídicí pastorek, 7 - Sedlo,
- 8 - Elektronická řídicí jednotka, 9 - Elektromotor, 10 - Převodovka servořízení,
- 11 - Manžeta, 12 - Spojovací tyč řízení

2.3.4 Řídicí jednotka ZF

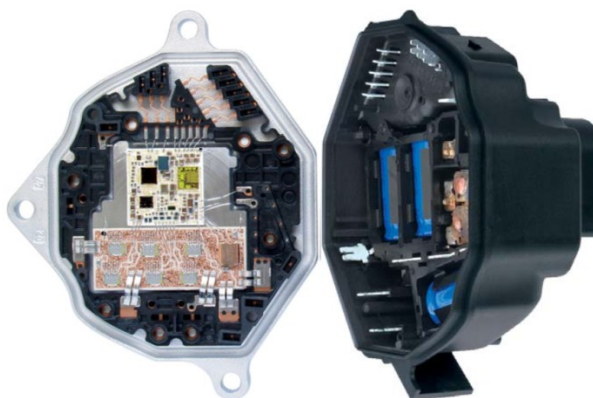
V jádru servořízení ZF se nachází vysoce přesná a výkonná elektronická řídicí jednotka ECU, která se vyrábí mikrohybridní technologií a její základní deska se skládá z více vrstev keramiky. V elektronické řídicí jednotce se nachází 32 bitový mikrokontrolér, který má integrované paměti flash i RAM a výstup pro motor. Celý řídicí systém se hermeticky uzavírá z důvodu bezpečnosti, aby vnější podmínky nenarušily danou aplikaci. Z důvodu optimální odezvy má ECU neustále k dispozici veškerá potřebná data, včetně uložených parametrů vozidla a proměnných operačních

parametrů (jako je rychlost vozidla, status motoru nebo rychlost řízení). Propojení s ostatními řídicími systémy se realizuje přes sběrnici CAN bus nebo FlexRay, což umožňuje plně inteligentní řízení. Mikrokontrolér přijímá data o způsobu jízdy ze snímačů, jízdních vlastností (tj. náročnost řízení, automatické vystředění, tlumení) a na základě jejich vyhodnocení posílá potřebný řídicí signál akčním členům servořízení.



Obrázek 8 Principiální blokové schéma ECU servořízení

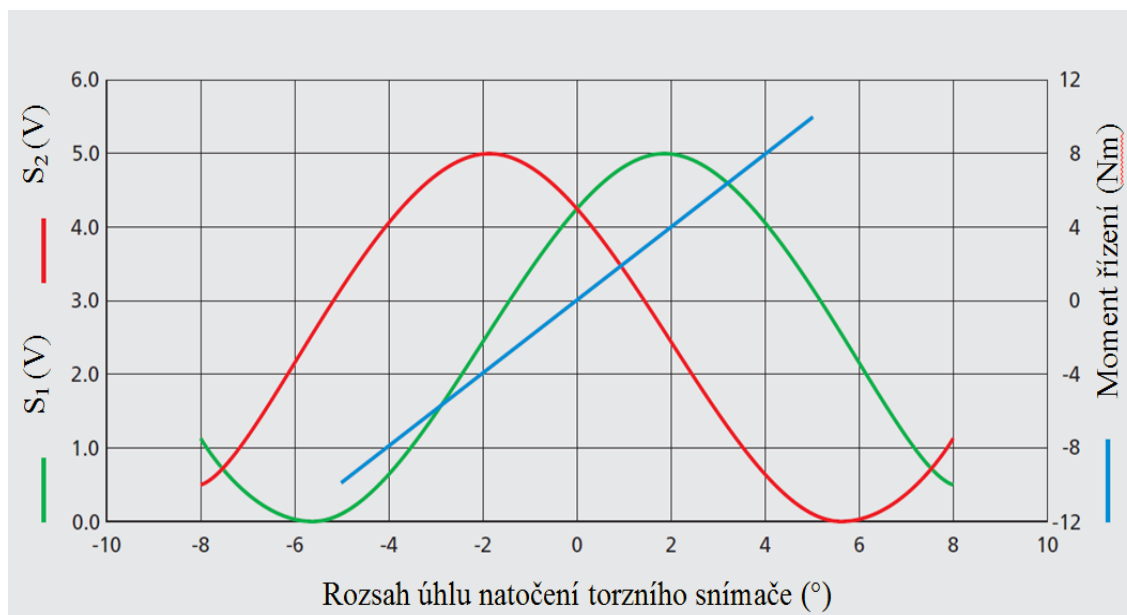
Užitím identických hardwarových součástí a naprogramováním paměti mikrokontroléru umožňuje univerzální přizpůsobivost řídicího systému pro různé typy vozidel a aplikací (např. sedan, SUV, sportovní kupé nebo dodávka). U sportovních vozidel se řídicí systém vyznačuje nejlepší možnou přesností řízení a ovládacími vlastnostmi. Pro dosažení těchto vlastností je potřebné omezit asistenci řízení v závislosti na rychlosti a typu vozidla. Řidič sportovního vozidla musí vynaložit větší sílu na řízení, pocit z jízdy a odezva vozovky se zintenzivňuje, což je účelem. Naopak asistence řízení se posiluje v případě, že se vozidlo navrhuje pro pohodlnější ovládání.



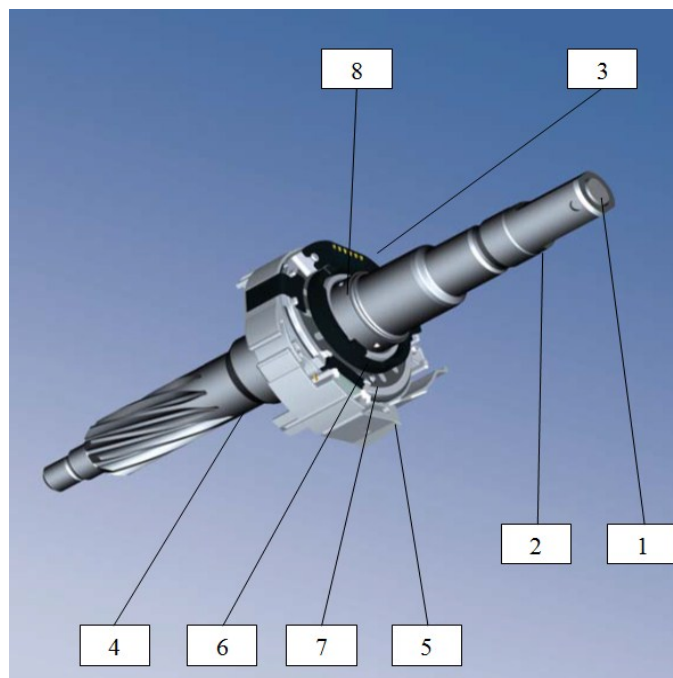
Obrázek 9 Řídicí jednotka servořízení [18]

2.3.4 Snímač točivého momentu

Snímač točivého momentu měří točivý moment na volantovou hřídel, který řidič aplikuje na volant. Na základě toho mikrokontrolér vypočítává asistenci řízení pro motor. Snímač točivého momentu se umísťuje na pastorek řízení, který se spojuje se torzní tyčí. Rozsah torze snímače se pohybuje v rozmezí 8 až 10 Nm. Pokud točivý moment přesáhne danou mez, tak mechanický omezovač úhlu zamezí přetížení torzní tyče. Pokud řidič otáčí volantem, torzní tyč se nachází ve stejné poloze jako magnet spojený se snímačem. Snímač se skládá z magneticky citlivých prvků, které mění odpor v závislosti na změnách směru proudu. Při tomto procesu otočení magnetu se snímá napětí a přizpůsobuje se k sinové a kosinové křivce. Přímý rotační úhel torzní tyče se vypočítává pomocí inverzní funkce tangenty. Vysoké požadavky na bezpečnost elektrických řídících systémů vyžadují detekci veškerých chyb, které se na snímači vyskytnou a vytvoří bezpečný řídicí systém. Data snímače se převádějí do ECU pomocí digitálního rozhraní s vysokou přesností při kvantování. Snímač točivého momentu může také volitelně obsahovat indexový magnet a indexový snímač. Indexový snímač posílá do ECU signál po každém plném otočení volantu. V kombinaci s daty ze snímače pozice rotoru a rychlosti kol, ECU dokáže vypočítat úhel řízení s odchylkou menší než 0,05 stupně. [18]



Obrázek 10 Princip snímače [18]



Obrázek 11 Snímač točivého momentu [18]

Popis obrázku

1 - Torzní tyč, 2 - Vstupní hřídel, 3 - Modul snímače, 4 - Pastorek řízení, 5 - Zásuvka,
6 - Indexační magnet, 7 - Indexační snímač, 8 - Pól otáčení

3 Komunikace na vozidle a modelu

Servořízení komunikuje po sběrnici CAN Bus, která se stará o spojení všech elektronických systémů vozidla. Po této sběrnici se přenášejí data od snímačů nebo čidel požadovaných hodnot, které zpracovává řídící jednotka automobilu a posílá řídicí signály pro akční členy. EPS je také akční člen, který zpracovává informaci o rychlosti vozidla, otáčkách motoru, palubním napětí a zapalování. Tyto informace zpracuje a posílá správný signál pro elektromotor EPS nebo také např. informaci o poruše a rozsvítí se kontrolka poruchy servořízení.

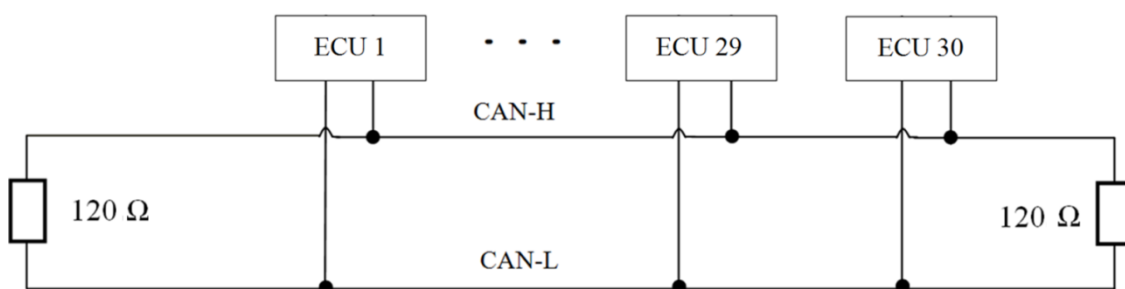
U automobilů se používají i další sběrnice jako LIN Bus a FlexRay. LIN Bus je pomalá jednoduchá, levná a jednovodičová sběrnice s maximální rychlostí přenosu 20 kbit/s, která nachází své uplatnění v komfortních systémech. LIN Bus funguje na principu asynchronní komunikace a lze ji použít maximálně pro 17 uzlů. S rozvíjející se elektronikou a vzrůstajícím počtem řídicích jednotek sběrnice CAN Bus nedostačuje a nahrazuje ji sběrnice FlexRay. Ke sběrnici FlexRay lze připojit až 2047 uzlů s přenosovou rychlostí až 10 Mbit/s a její komunikace probíhá po dvou kroucených vodičích s vysokou odolností proti rušení. U této komunikaci se používá statický i dynamický přístup na sběrnici, hodí se k aplikacím v reálném čase a nezanedbatelnou výhodou je vysoká bezpečnost přenosu dat. Komunikace pracuje na principu periodicky se opakujících komunikačních cyklů. [11]

3.1 CAN Bus

CAN Bus neboli CAN vyvinula firma BOSCH pro použití do automobilu. Název CAN vznikl z anglických slov „Controller Area Network“. Výhodou této sběrnice je jednoduché propojení, nízká poruchovost, malý zastavěný prostor a přehlednost. Podle normy se uvádí, že lze připojit maximálně 30 uzlů na sběrnici. Datová sběrnice CAN se skládá ze dvou vodičů, ukončovacích rezistorů a jednotlivých jednotek, které se připojují přímo na sběrnici. Pomocí ukončovacích rezistorů se ukončuje sběrnice tak, aby nedocházelo k nežádoucím odrazům zpráv. Při nesprávné zprávě pro řídící jednotku vzniká kolize, která může mít fatální následky např. odpálení airbagu v reálném čase na základě chybové datové zprávy. Hodnoty ukončovacích rezistorů se nejčastěji pohybují kolem hodnoty 120 Ω . CAN Bus pracuje principiálně

2013

jako „multimastering“, což znamená, že každé zařízení připojené na sběrnici může řídit jiné zařízení nebo také práci přímo na sběrnici. Není nutností řídit sběrnici z jednoho „nadřazeného uzle“, což značně zjednodušuje řízení a spolehlivost sběrnice. Při přenosu dat není ve zprávě obsažena informace o cílovém zařízení a je přijímána všemi uzly. Komunikace probíhá na základě prioritního rozhodování, kde jednotlivá zařízení rozhodují podle identifikátoru na zpracovatelnost zprávy. Maximální přenosová rychlost se uvádí 1 Mbit/s. Pro přenos dat na sběrnici je potřeba komunikační protokol, který detekuje chyby, má jednoduchou formu. V automobilu se rozlišují dva základní typy sběrnic CAN- motor a CAN- comfort. CAN- motor dosahuje vysokých rychlostí a připojují se na něj části motorového ústrojí pro pohon automobilu a systémy pro bezpečnost. CAN- comfort je charakterizován nižší přenosovou rychlostí, kterou užívají komfortní systémy např. systém pojezdu oken, klimatizace, navigace a jiné. Komfortní systémy z pohledu bezpečnosti a chodu automobilu nejsou tak významné, jak již zmíněný pohon a bezpečnostní systémy. Obě sběrnice se připojují k jednotce tzv. GATEWAY. [14]

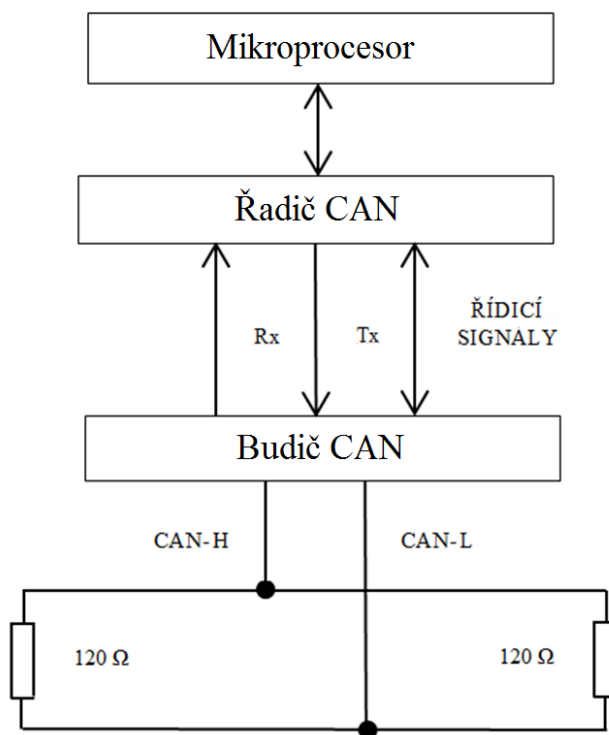


Obrázek 12 Připojení řídicích jednotek na CAN sběrnici

3.2 Hardwarové řešení CAN Bus

Na sběrnici CAN Bus jsou připojeny všechny řídicí jednotky, které se skládají z CAN řadiče (CAN controller) a budiče (CAN transceiver). Řadič zprostředkovává spojení mezi mikroprocesorem řídicí jednotky a budičem. Data zpracovaná mikroprocesorem se potřebně upraví podle datových rámců, identifikačního pole, kontroly dat, atd. a pošlou se do budiče. Při opačném ději přijímání dat, procházejí data z budiče do řadiče a následně do mikroprocesoru. Ve valné většině případů je zabudovaný řadič přímo v řídicí jednotce, a při jeho absenci se připojuje externí řadič. Transceiver vykonává funkci příjmu i posílání dat. Řadič převádí napěťové TTL úrovně

do podoby komunikačního protokolu CAN a vyšle ho na sběrnici. Při příjmu dat, probíhá opačný děj, kdy se z komunikačního CAN protokolu převedou data na TTL napětíovou úroveň a předají se řadiči. Princip je vysvětlen na následujícím obrázku 13 Hardwarové řešení CAN sběrnice.

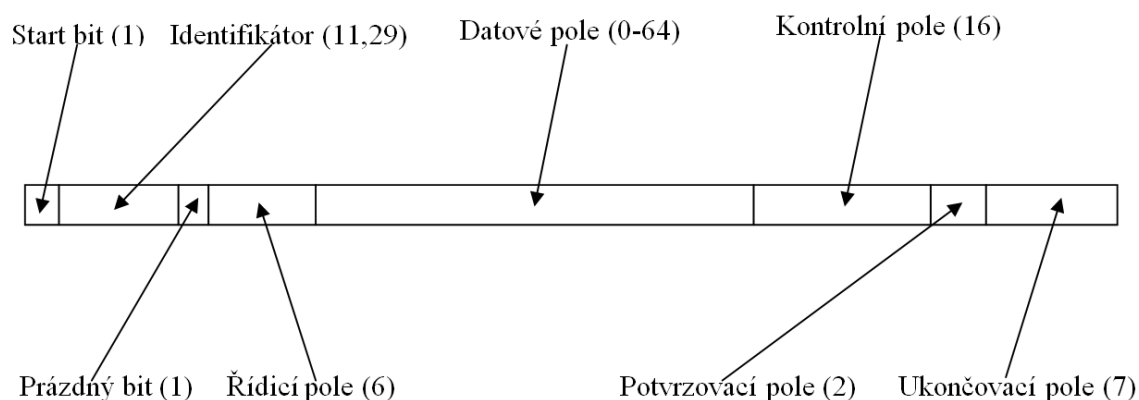


Obrázek 13 Hardwarové řešení CAN sběrnice

3.3 Protokol komunikace

Při komunikaci se musí dodržet daná pravidla, která jsou ve formě komunikačního protokolu tak, aby se dodrželo řízení v reálném čase a míra chybovosti na minimálně hodnotě. V protokolu sběrnice CAN se rozlišují dvě základní nejčastější normy ISO 11898 a ISO 11519-2. Norma ISO 11898 definuje pravidla pro komunikaci tzv. High-speed neboli CAN- motor. V této normě se uvádí přenosová rychlost 1 Mbit/s. Norma ISO 11519-2 se vyznačuje přenosovou rychlostí 500 kbit/s, označuje se CAN- comfort neboli komunikace tzv. Low- speed. V obou normách jsou určeny jak elektrické vlastnosti vysílače budiče a přijímače, tak zároveň principy časování, synchronizace a kódování jednotlivých bitů. Při praktické realizaci sběrnice se definuje difference napětí dvou vodičů, kde se rozlišují základní stavy dominantní a recesivní, kde se označuje logickou nulou dominantní stav a naopak logickou jedničkou recesivní stav. Formát jednotlivých zpráv je uspořádán do tzv. rámců, kde se rozlišují dva

základní typy CAN 2.0A a CAN 2.0B. Typ CAN 2.0A se specifikuje 11 bitovým základním identifikátorem a typ CAN 2.0B rozšířeným 29 bitovým identifikátorem. Každý rámec přenáší jiná data, která se jinak specifikují (viz. obrázek 14 Datový rámec CAN zprávy), kde je popsána struktura datového rámce zprávy CAN Bus. V oblasti identifikátoru se nastaví bit RTR na úroveň dominant, aby se rozlišilo, že se jedná o datový rámec.



Obrázek 14 *Datový rámec CAN zprávy [12]*

Existují i další tři varianty rámců CAN zpráv, které mohou nastat, a to:

- žádost o data,
- zpráva o chybě,
- zpráva o přetížení.

Při přenosu dat mohou nastat chyby, a proto je potřebné data zabezpečit monitoringem, CRC kódem, vkládání bitu, kontrolou zprávy a potvrzením přijaté zprávy.

Rámec žádosti o data

Formát žádosti o data se podobá formátu datového rámce. Na rozdíl od datového rámce neobsahuje datovou oblast a v oblasti identifikátoru se nastavuje bit RTR na úroveň recessive. Při potřebě daného uzlu o zaslání dat musí nastat tato změna v identifikátoru zprávy. Pokud na sběrnici nastane případ, že se nachází datový rámec i rámec žádosti o data ve stejnou dobu, dostává přednost rámec datový, protože úroveň bitu RTR je dominant.

Rámec chybové zprávy

V tomto rámci se signalizují chyby. Pokud se zjistí na libovolném uzlu chyba v přenosu zprávy (chyba bitu, chyba o potvrzení zprávy, chyba vkládání bitu, chyba rámce), vytváří se na sběrnici rámec chyby. Rozlišuje se, v jakém stavu se nachází uzel, který identifikoval chybu a vytváří se pak na sběrnici příznak chyby. Příznaky chyby se dělí na aktivní a pasivní. U aktivního příznaku se nachází šest bitů ve stavu dominant a u pasivního příznaku se nachází dvanáct bitů ve stavu recessive.

Rámec zprávy o přetížení

Rámec zprávy o přetížení se vyšle v případě, kdy nastane přetížení a tím se oddálí vyslání následující datové zprávy nebo zprávy žádost o data. Obvykle se tato metoda využívá u uzlů, které nejsou schopny z důvodu vytížení přijímat a zpracovávat další zprávy. Chybový rámec zprávy a rámec zprávy o přetížení jsou podobné, liší se tím, že vysílání se ruší po konci zprávy, oddělovače chyb nebo předcházejícího oddělovače zpráv přetížení. [12]

3.4 Software a hardware pro analýzu komunikace s vozidlem

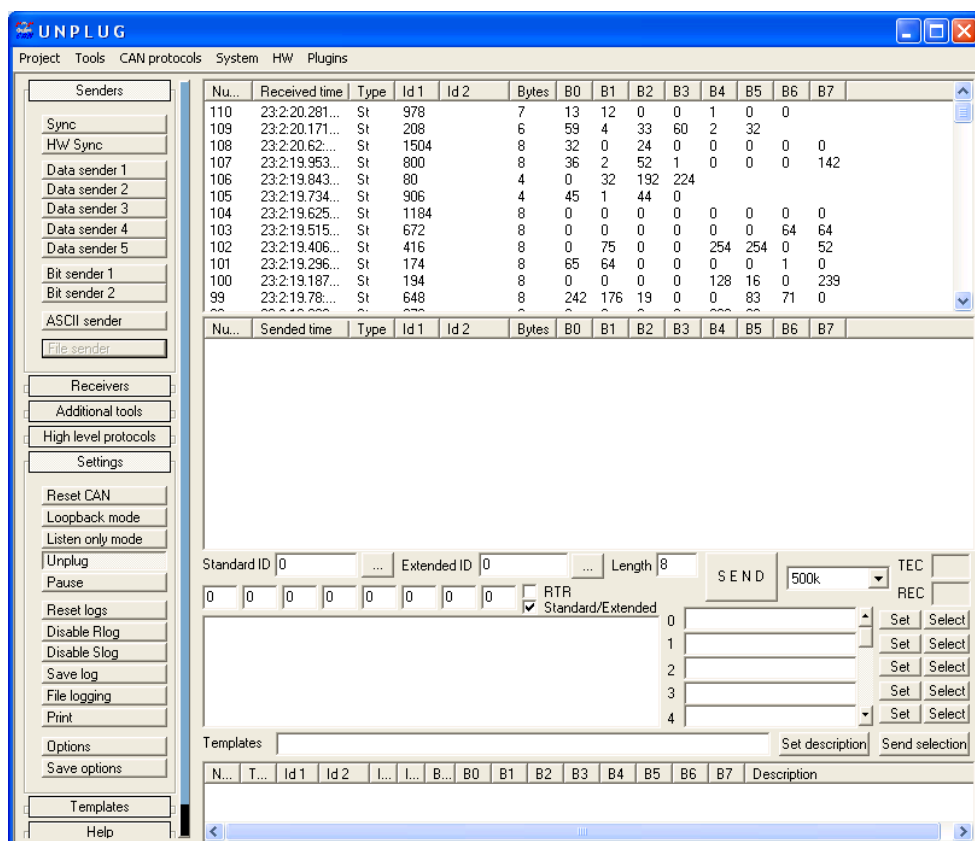
Propojení automobilu s počítačem se realizuje přes USB2CAN adaptér, který se připojuje do počítače pomocí USB. Na druhé straně se připojení na sběrnici realizuje pomocí konektoru CANNON 9 a čtyř vodičů CAN-H, CAN-L a dvou zemních vodičů.



Obrázek 15 USB2CAN adaptér [15]

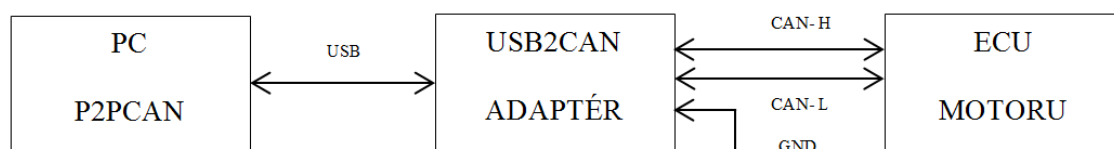
Jako software se používá PP2CAN, který přináší možnost velké variability práce se sběrnici (příjem a vysílání dat, analýza, nahrání komunikace, filtrace zpráv apod.). V okně programu se nachází menu s jednotlivými nástroji, které slouží pro dané úkony uživatele. Záložka *Project* umožňuje uložení nebo nahrání vlastního projektu. Lišta na pravém okraji slouží k ovládání, nastavení a obsahuje další funkce.

V záložce *Settings* se provádí kompletní nastavení programu jako např. resetování CAN Bus, pozastavení komunikace, uložení nahrávaných dat apod. V této záložce se objevuje ještě volba *Options*, která obstarává nejdůležitější nastavení aplikace (nastavení vysílače nebo přijímače, změna formátu CAN zprávy, rychlost a priority komunikace apod.). Pro nahrání komunikace z automobilu se používá volba *Filelogging* a následně volba *Save log*, která ukládá data do textového formátu. Pro vysílání dat se používá záložka *Senders*, v níž se nachází možnost *FileSender*, která umožňuje nahrání a spuštění komunikace a možnost *Data Sender*, která umožňuje posílání jedné zprávy. Pro zobrazení zprávy se může použít funkce *Fabia Monitor*, v níž lze vidět jednotlivé změny virtuálně na palubní desce. Ve volbě *Receivers* se provádí práce pro příjem dat jako filtrace zpráv podle ID, vykreslení do grafu, zobrazení přijaté zprávy apod. V horní části okna programu se nachází výpis historie přijatých zpráv a v následném okně se zobrazuje výpis manuálně odeslaných zpráv. Další okno aplikace slouží k zobrazení informací a hlášení aplikace. V dolní části aplikace se nachází okno s předdefinovanými zprávami. V následujícím obrázku 16 Okno programu se nachází spuštěná aplikace. [16]



Obrázek 16 Okno programu

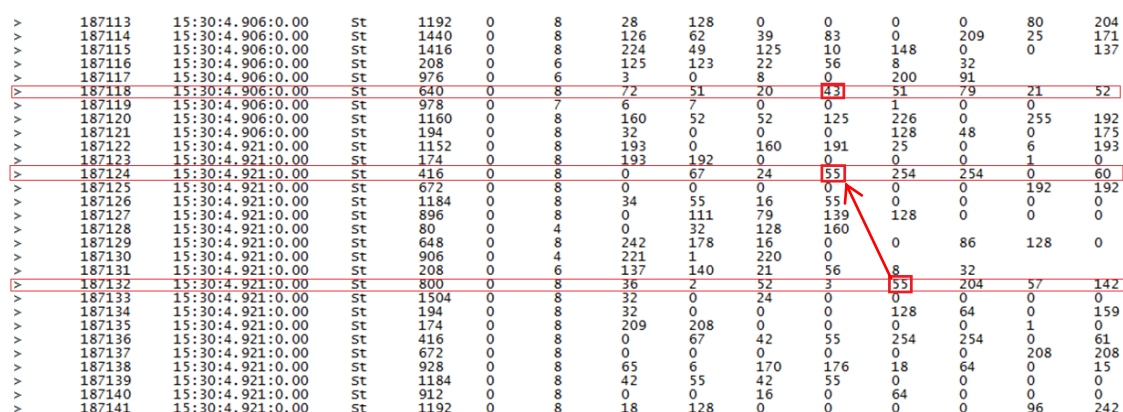
3.5 Nahrání komunikace z automobilu Škoda Octavie II



Obrázek 17 Zjednodušené schéma připojení pro nahrání komunikace

Při načtení komunikace se použil software P2PCAN a volba *Filelogging* a *Save log*. Při připojování na sběrnici bylo nutné připojit se na CAN- motor. Výchozí předpoklad, že konektor sběrnice CAN- motor a jeho kabelový svazek se bude nacházet pod palubní deskou a dále pod čelním sklem u motoru od stěračů se nepotvrdil. Pro připojení na sběrnici se použily sondy na kabelový svazek k řídicí jednotce motoru, který se musel odizolovat. Tato možnost byla použita až jako poslední varianta, protože při propíchnutí vodičů může dojít k poškození vodičů následkem např. působením vlhkosti a vznikem elektrolyzy.

Nahrání dat probíhalo při zapnutém zapalování, při volnoběžných otáčkách s natáčením volantu do krajních poloh, při zvyšování otáček, při akceleraci do 120 km/h a při řazení čtyřech rychlostních stupňů do 140 km/h. Pro simulaci měření rychlosti byla použita válcová zkušebna. Na následujícím obrázku č. 18 Příklad části reálné komunikace jsou zobrazeny datové zprávy, přicházející při zvyšování otáček a rychlosti automobilu. Při nahrávání komunikace bylo důležité, aby se v paměti řídicí jednotky motoru nenacházely chyby. Pro tento účel se použila sériová diagnostika VAG-COM a BOSCH KTS 505, které splňují normu EOBD. Norma EOBD se používá pro sjednocení diagnostických prostředků řídicích jednotek motorů.



>	187113	15:30:4.906:0.00	St	1192	0	8	28	128	0	0	0	0	80	204
>	187114	15:30:4.906:0.00	St	1440	0	8	126	62	39	83	0	209	25	171
>	187115	15:30:4.906:0.00	St	1416	0	8	224	49	125	10	148	0	0	137
>	187116	15:30:4.906:0.00	St	208	0	6	125	123	22	56	8	32	0	0
>	187117	15:30:4.906:0.00	St	976	0	6	3	0	8	0	200	91	0	0
>	187118	15:30:4.906:0.00	St	640	0	8	72	51	20	53	51	79	21	52
>	187119	15:30:4.906:0.00	St	978	0	7	6	7	0	0	1	0	0	0
>	187120	15:30:4.906:0.00	St	1160	0	8	160	52	52	125	226	0	255	192
>	187121	15:30:4.906:0.00	St	194	0	8	32	0	0	0	128	48	0	175
>	187122	15:30:4.921:0.00	St	1152	0	8	193	0	160	191	25	0	6	193
>	187123	15:30:4.921:0.00	St	174	0	8	193	192	0	0	0	0	1	0
>	187124	15:30:4.921:0.00	St	416	0	8	0	67	24	55	254	254	0	60
>	187125	15:30:4.921:0.00	St	672	0	8	0	0	0	0	0	0	192	192
>	187126	15:30:4.921:0.00	St	1184	0	8	34	55	16	55	0	0	0	0
>	187127	15:30:4.921:0.00	St	896	0	8	0	111	79	139	128	0	0	0
>	187128	15:30:4.921:0.00	St	80	0	4	0	32	128	160	0	0	0	0
>	187129	15:30:4.921:0.00	St	648	0	8	242	178	16	0	0	86	128	0
>	187130	15:30:4.921:0.00	St	906	0	4	221	1	220	0	0	0	0	0
>	187131	15:30:4.921:0.00	St	208	0	6	137	140	21	56	8	32	0	0
>	187132	15:30:4.921:0.00	St	800	0	8	36	2	52	3	55	204	57	142
>	187133	15:30:4.921:0.00	St	1504	0	8	32	0	24	0	0	0	0	0
>	187134	15:30:4.921:0.00	St	194	0	8	32	0	0	0	128	64	0	159
>	187135	15:30:4.921:0.00	St	174	0	8	209	208	0	0	0	0	1	0
>	187136	15:30:4.921:0.00	St	416	0	8	0	67	42	55	254	254	0	61
>	187137	15:30:4.921:0.00	St	672	0	8	0	0	0	0	0	0	208	208
>	187138	15:30:4.921:0.00	St	928	0	8	65	6	170	176	18	64	0	15
>	187139	15:30:4.921:0.00	St	1184	0	8	42	55	42	55	0	0	0	0
>	187140	15:30:4.921:0.00	St	912	0	8	0	0	16	0	64	0	0	0
>	187141	15:30:4.921:0.00	St	1192	0	8	18	128	0	0	0	0	96	242

Obrázek 18 Příklad části reálné komunikace

3.6 Analýza CAN zprávy Škoda Octavie II

Pro analýzu zaznamenané komunikace se použil virtuální mód v software PP2CAN a funkce *Fabia Monitor*. V CAN zprávě je číslo zprávy, neboli ID a délka zprávy je 8 bytes. Každý byte obsahuje 8 bitů, což v praxi znamená 255 hodnot podle součtu umocněného čísla 2 ($2^0+2^1+2^2+2^3+2^4+2^5+2^6+2^7=255$). V jednom byte může být obsaženo až 8 různých veličin např. maximálně 8 signalizačních upozornění na display palubní desky. Některé veličiny se ukládají až do hodnoty 3 bytes např. ujeté kilometry, součinem jejich hodnot se zobrazuje vysoké číslo a musí být složeno součinem všech tří bytes.

V dalším kroku se analyzovala data na samotnému modelu EPS, kde se zjišťovalo, které datové zprávy, rozlišené identifikátory, servořízení ovlivňují. Data reálné komunikace se postupně redukovala a pouštěla do servořízení, až servořízení nemělo správnou funkčnost. Tímto způsobem se zjistilo, které datové zprávy potřebuje

servořízení k chodu. U zjištěných datových zpráv se muselo zjistit, které bytes EPS potřebuje a jak ho jednotlivé bytes ovlivňují. Identifikace CAN sběrnice probíhala změnou velikostí bytes a měřila velikost proudu. Tímto způsobem se pomocí vylučovací metody zjistila úplná funkčnost EPS.

U servořízení ZF je potřeba znát ID rychlosti vozidla, ID otáčky motoru, ID servořízení a jeho pozice bytu. Servořízení se nachází v ID 1, otáčky motoru v ID 2, rychlost se nachází v ID 3 a jeho umístění je uvedeno v následující tabulce.

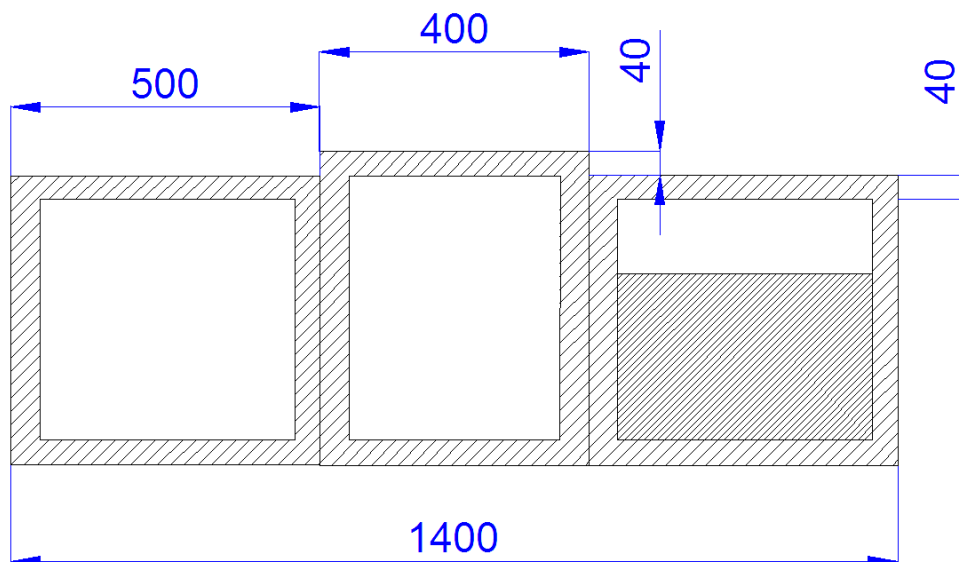
Tabulka 1 Datové zprávy servořízení ZF

ID	Bytes	B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
ID 1	8	-	-	-	velká změna rychlosti	-	-	-	palubní napětí
ID 2	8	-	-	-	otáčky motoru	-	-	-	-
ID 3	8	-	-	-	malá změna rychlosti	velká změna rychlosti	-	-	-

Posilovací účinek EPS se vypočítává z otáček motoru a rychlosti. Tato data putují do hlavní řídicí jednotky, která vysílá CAN zprávu pro servořízení s ID 1, kde posilovací účinek ovlivňuje velká změna rychlosti. Velikost bytu B4 ID 3 se zkopíruje do bytu B3 do ID 1. Malá změna rychlosti posilovací účinek neovlivňuje. Ke správné funkci servořízení je potřeba, aby byl motor automobilu v chodu. Bez nastartovaného motoru servořízení nefunguje. EPS potřebuje znát hodnotu palubního napětí automobilu, aby se uvedlo do chodu, pokud ji nezná, nebo je minimální, nebude fungční.

4 Tvorba modelu elektronického servořízení ZF

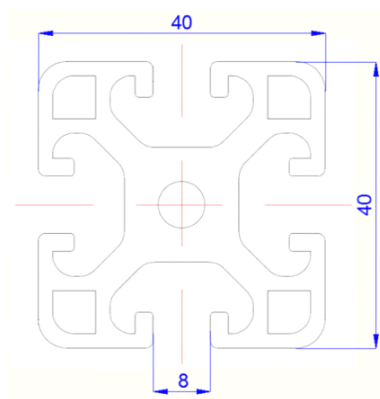
Pro konstrukci modelu elektronického servořízení ZF byl využit stávající model elektrohydraulického servořízení. Na původní rám byla přidána další konstrukce, aby unesla druhé servořízení tak, aby oba modely zabraly malý zástavbový prostor.



Obrázek 19 Původní rám

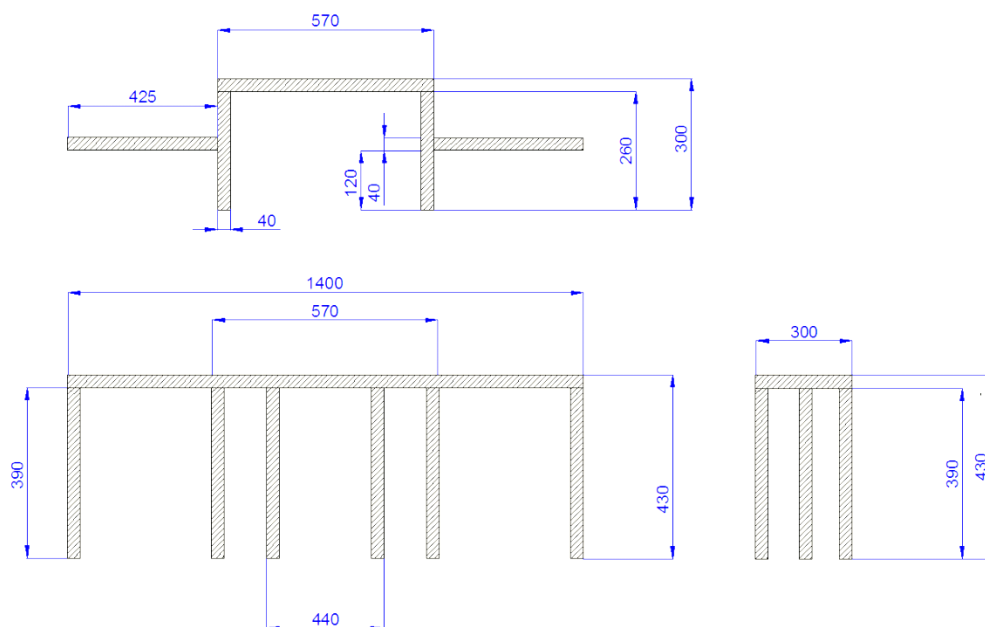
4.1 Tvorba přídavného rámu

Na nástavbu původního rámu byl použit hliníkový profil společnosti HaberkornUlmer, s.r.o. Řez profilu je vidět na obrázku 20 Profil rámu. Na přídavný rám bylo použito délky 4,4 m profilu, který se skládal z šesti profilů délky 390 mm, což udává výšku přídavného rámu. Dále byl použit jeden profil o délce 570 mm a další dva profily o délce 260 mm, na které bylo upevněno dané servořízení. Poslední dva profily o délce 425 mm slouží k pohybu jezdců, kteří jsou reálně napojeni přes spojovací tyče na kola automobilu. Pro spojení profilů se vyřezaly závitníkem závity a použily se šrouby se závitem M8 délkou 50 mm a hlavou o velikosti 13 mm. Pro zaslepení nařezaného profilu se použily záslepky od již výše uvedené firmy. Na uchycení servořízení se použily čtyři šrouby a čtyři matky se závitem M8. Při tvorbě rámu byl brán zřetel na to, aby měl vysokou pevnost a tuhost konstrukce. Nesmí se opomenout cena, proto se při výrobě rámu dbalo na malou spotřebu materiálu.



Obrázek 20 Profil rámu

Na obrázku 21 Přídavný rám se uvádí rozložení profilů přídavného rámu.

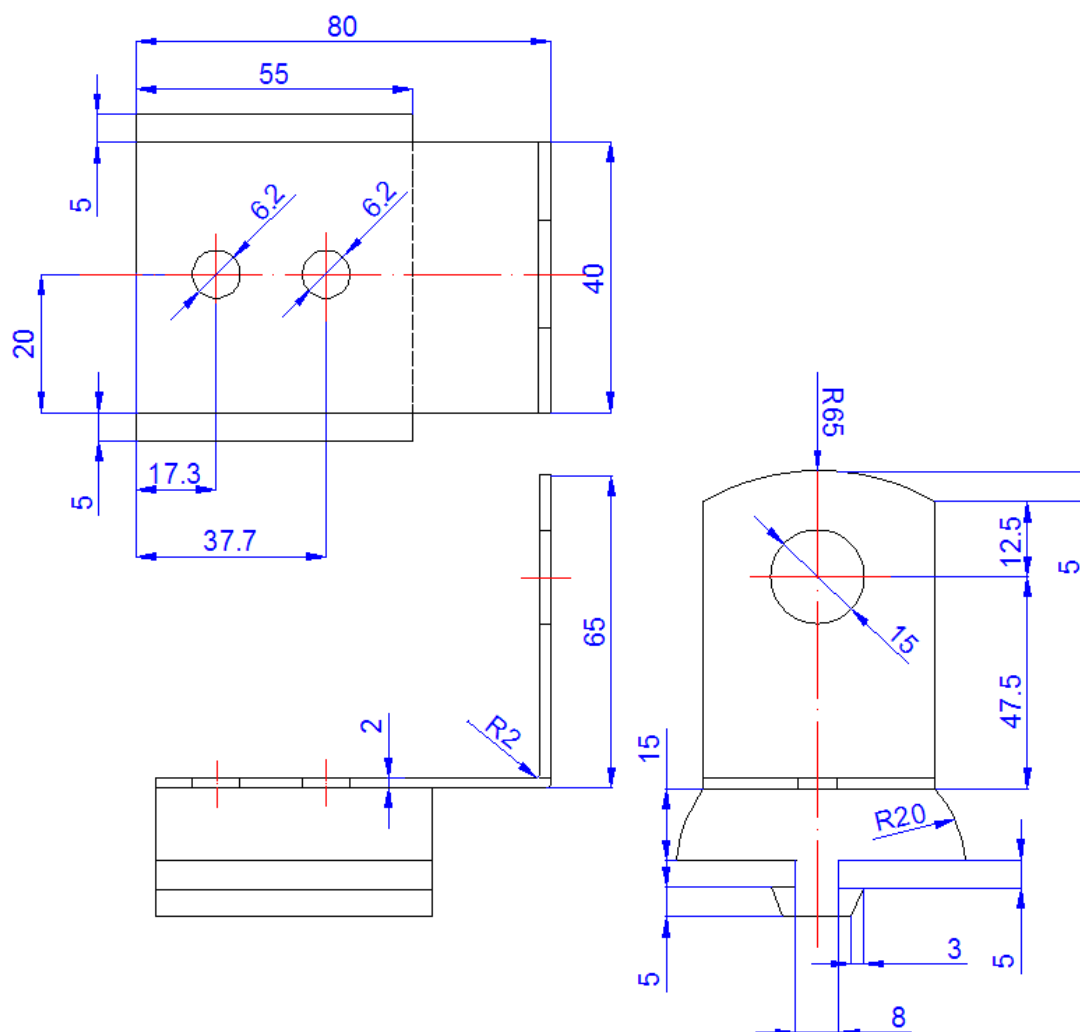


Obrázek 21 Přídavný rám

4.2 Přidržovací jezdec

V této kapitole se popisuje výroba a funkce přidržovacího jezdec. Jezdec se skládá ze dvou částí, silonové podstavy a nerezového plechu ve tvaru L a tří děr. Jedna díra slouží ke spojení matky se závitem M16 a spojovací tyče řízení. Následující dvě díry slouží ke spojení silonové podstavy a nerezového L plechu pomocí šroubů se závity M6 o délce 15 mm. Tato část modelu slouží k fiktivnímu připojení na kolo automobilu a zároveň k tomu, aby se spojovací tyč řízení pohybovala v jedné rovině s téměř konstantním odporem proti pohybu servořízení. Přidržovací jezdec slouží k zafixování

tyčí, které se nacházejí v ohybných kloubech. U každého zařízení se musí dbát na bezpečnost tak, aby nevzniklo zranění při manipulaci. V našem případě se přidržovací jezdec může vzpříčit a odklonit z rámu.



Obrázek 22 Přidržovací jezdec

4.3 Pojistkový odpojovač

Pro servořízení EPS i EHPS je třeba při spuštění spojit obvod pojistkovou vložkou. Tímto způsobem se obvod chrání proti zkratu a přetížení. Vlastnosti pojistkové vložky ukazuje ampérsekundová tavná charakteristika, která má v tomto případě vysokou vypínací schopnost a vypne už při malém přepětí. Tato ochrana se používá pro výkonové části různých zařízení, v našem případě k ochraně napájení. Tavná pojistka má jmenovité hodnoty maximálního střídavého napětí 400 V a maximálního zatěžovacího proudu 160 A, která spuštěná vykazuje malý ztrátový výkon 9 W. Tavná

pojistka se nachází v pouzdře, zasazená v pojistkovém odpojovači OEZ FH000- 1A/T. Toto zařízení pojme vodič o průřezu $1,5 - 50 \text{ mm}^2$ s třmenovými svorkami, které slouží pro jednopólový pojistkový odpojovač.

4.4 Volba napájecího zdroje

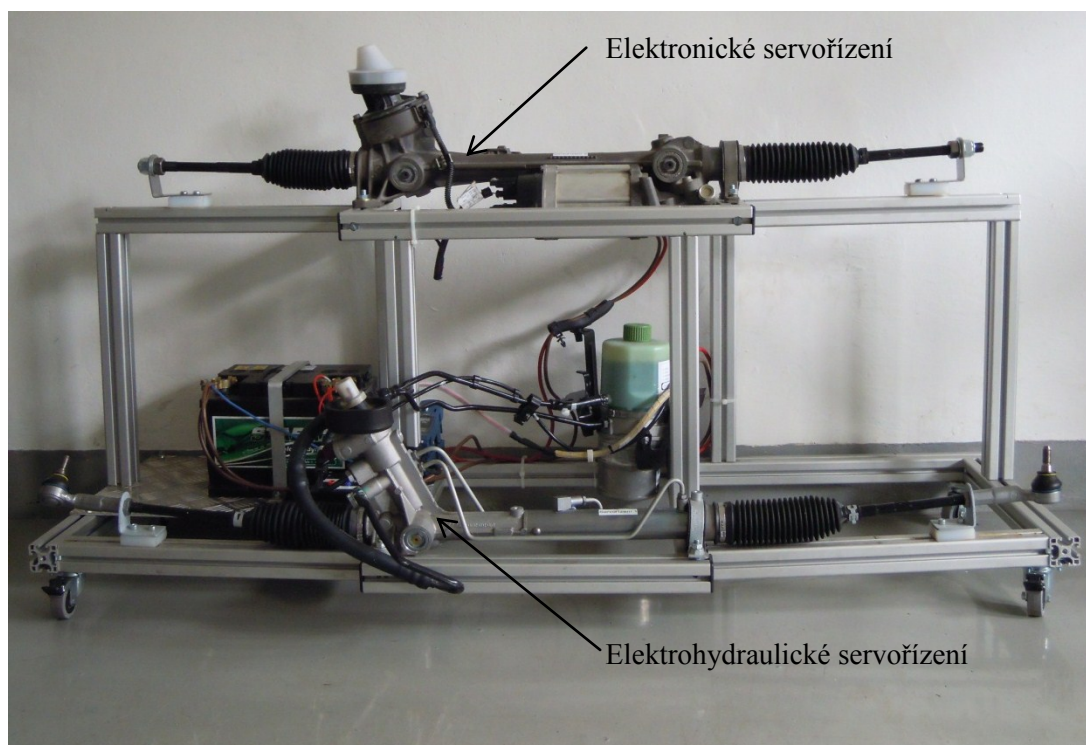
Servořízení se vyznačuje velkým proudovým odběrem, proto by i kapacita akumulátoru měla odpovídat. Pro tento model je vhodný tvrdý zdroj, kde byl zvolen olověný akumulátor o kapacitě 60 Ah. Zařízení musí vykazovat stabilní chod i bez častého nabíjení akumulátoru. Akumulátor byl připevněn na vytvořený plech na rámu a uchycen držákem. Držák byl přišroubován dvěma šrouby s matkami se závitem M6. Olověný akumulátor se vyznačuje i negativními vlastnostmi jako omezeným počtem nabití a vybití, vysokou hmotností a při vybitém stavu sulfatujícími elektrodami.

4.5 Ovládání servořízení

Vedle akumulátoru se na plechu nachází černý plastový box. Na tomto boxu se nacházejí ovládací prvky servořízení a zároveň slouží jako přístupový bod modelu. Na horní straně boxu se nacházejí dva vypínače pro zapnutí řídicích jednotek jednotlivých servořízení a vedle nich se nachází přepínač, který odděluje sběrnice CAN Bus. Na boční straně boxu je konektor CANON 25, na kterém jsou vyvedeny CAN- H, CAN- L a oba zemní vodiče. Model se připojuje kabelem, na kterém byly napájeny dva konektory. Konektory se spojují se dvěma USB2CAN adaptéry, které se připojí k počítači a slouží jako přijímací a vysílací strana pro dané měření.

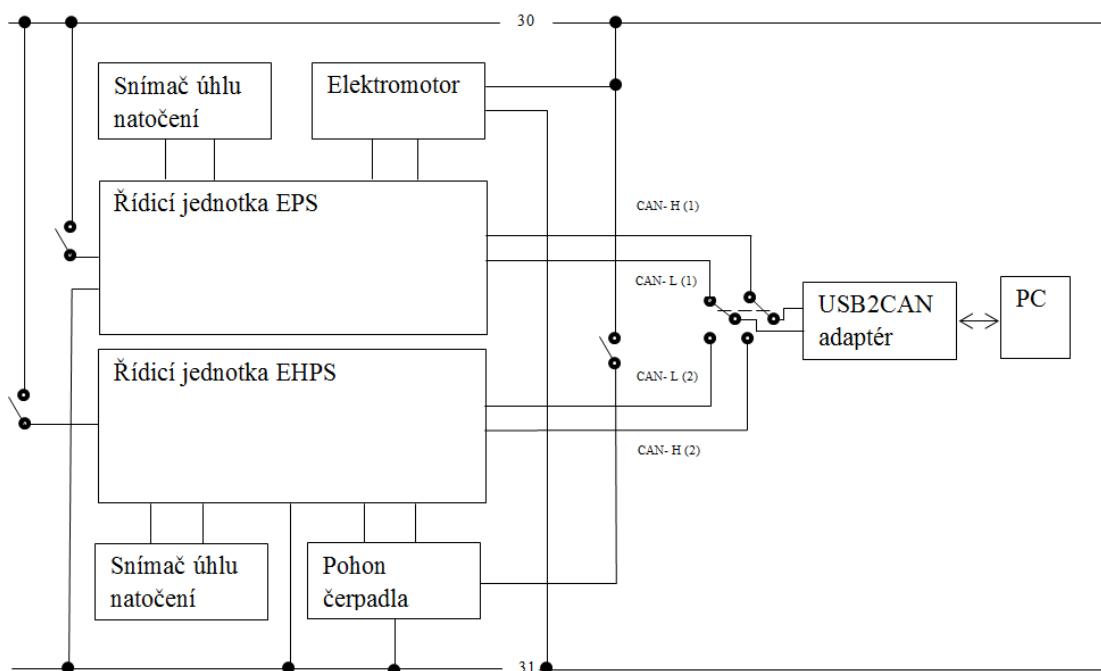
4.6 Konečná podoba modelu

Na obrázku konečné podoby laboratorního modelu je vidět elektronické i elektrohydraulické servořízení. Obě servořízení mají společné ovládání a připojení k počítači. Elektronické servořízení lze na první pohled rozeznat od elektrohydraulického, protože u něj chybí hydraulická část, tj. čerpadlo, nádržka s olejem a rozvodní potrubí pro kapalinu.

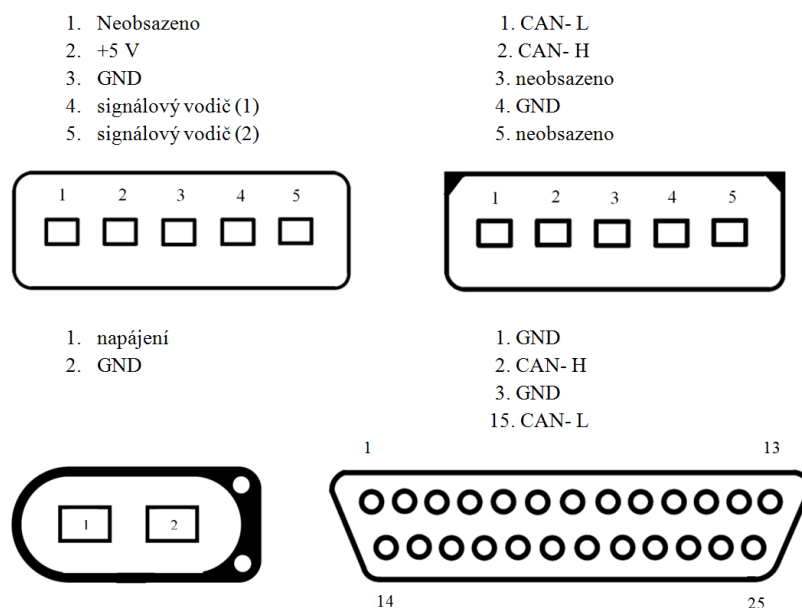


Obrázek 23 Konečná podoba laboratorního modelu

Po sepnutí pojistkového odpojovače je třeba mít zapnutu jednu nebo druhou řídicí jednotku servořízení. Pojistkový odpojovač uvádí do chodu výkonové části obou servořízení souběžně. Pokud se neuvede do chodu řídicí jednotka EPS, nebo řídicí jednotka EHPS, servořízení se neuvede do chodu. Sběrnice CAN je oddělena pro každé servořízení zvlášť tak, aby nedocházelo při přepínání mezi servořízeními k odrazům datových zpráv.



Obrázek 24 Schéma zapojení modelu



Obrázek 25 Popis konektorů servořízení EPS

Pro měření na laboratorním modelu je třeba znát zapojení přístupových bodů tj. konektor sběrnice CAN Bus, konektor snímače točivého momentu, konektor napájení elektromotoru a připojovací konektor CANON 25 k počítači. Jejich zobrazení je vidět na obrázku 25 Popis konektorů servořízení a slouží k případné detekci chyb na laboratorním modelu nebo k jeho budoucímu vylepšení.

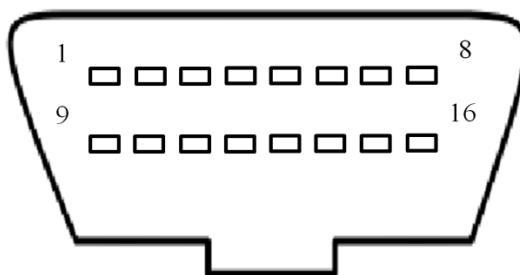
5 Měření na vozidle a modelu

Při detekci změny jednotlivých veličin se používá sériová a paralelní diagnostika. Pro identifikace sběrnice CAN Bus se používá již zmíněný USB2CAN adaptér se softwarem PP2CAN.

5.1 Sériová diagnostika

Tento pojem znamená, že připojení se provede přes tzv. sériový kanál k řídicím jednotkám. Pro tuto funkci se používají diagnostické přístroje vybavené displejem. Přes tuto diagnostiku se provádí čtení paměti závad, vymazání paměti závad, funkce měřené hodnoty, nastavení snímačů a akčních členů, funkce základního nastavení a funkce přizpůsobení.

Vlivem velkého množství používaných automobilů a velké hustoty osídlení, vznikla norma EOBD. EOBD se nazývá Evropská palubní diagnostika. Tento předpis stanovuje technické normy, týkající se diagnostiky emisí osobních automobilů, problematiky zpřísnění norem v oblasti výfukových plynů, identifikace nefunkčních součástí a jejich uložení do paměti počítače pomocí chybových kódů. Pro načtení chybového kódu se používá diagnostická přípojka pro systém EOBD.



Obrázek 26 Diagnostická přípojka EOBD

Popis jednotlivých pinů	1, 3, 8, 9, 11, 12, 13 - neobsazeno; 2 - SCP +; 10 - SCP - ; 4 - Zem vozidla; 5 - Zem signálu; 6 - CAN- H; 14 - CAN- L; 7 - vedení K; 15 - vedení L; 16 - zdroj napětí akumulátoru;
-------------------------	---

Neobsazené piny slouží k obsazení jiných řídicích jednotek (ESP, bezpečnostní systémy, servořízení EPS). Piny 7 a 15 se používají pro diagnostické komunikační vedení. Na pinech 2 a 10 probíhá komunikace podle komunikačního protokolu SCP (Standard Corporate Protokol). [17]

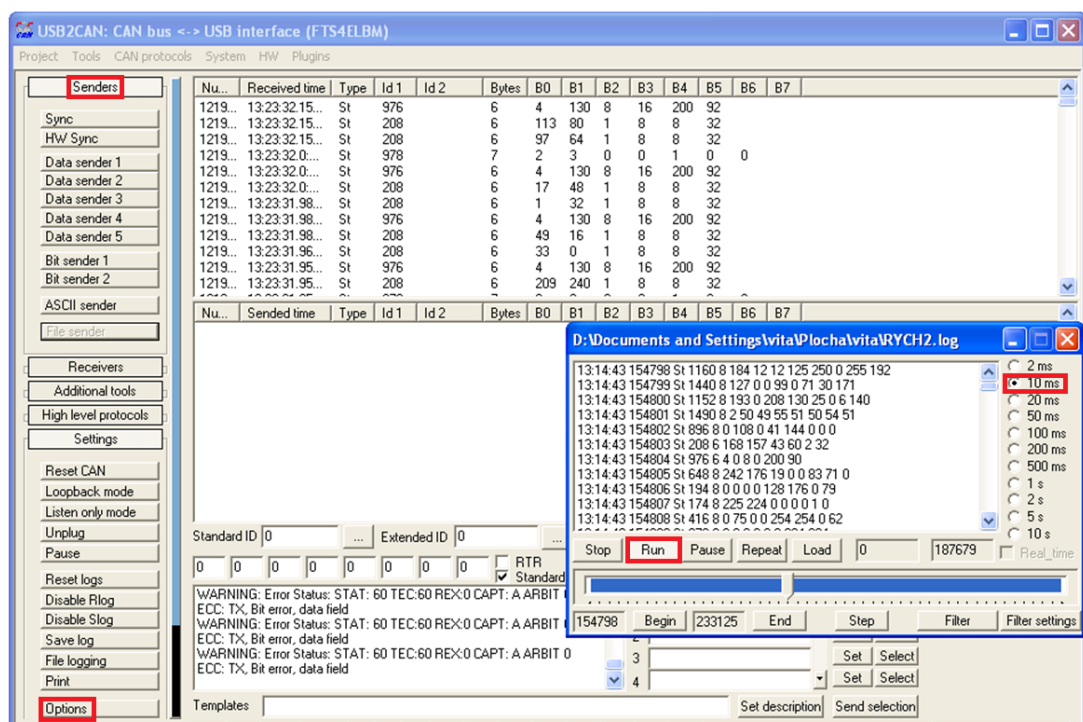
5.2 Paralelní diagnostika

Princip paralelní diagnostiky spočívá v tom, že se měří fyzikální veličiny snímačů a akčních členů. Měření se může provádět přímo na daném komponentu, nebo na pinu svorkovnice. Zjišťují se statické a dynamické parametry snímačů a akčních členů. Pro základní paralelní diagnostiku se používají přístroje jako voltmetr, ampérmetr, ohmmetr, osciloskop s proudovou nebo napěťovou sondou, analyzátor sběrnice a jiné.

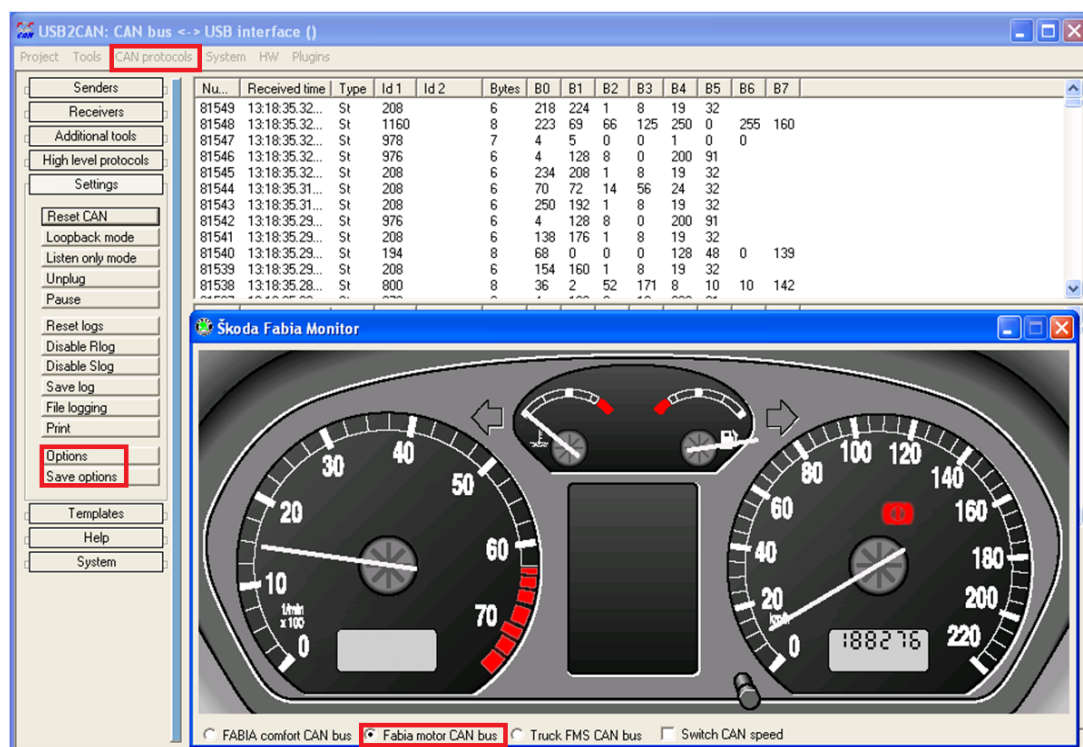
5.3 Měření odebíraného proudu na modelu EPS

Při měření na modelu se musí nastavit přijímací a vysílací strana. Změna proudu na motoru EPS ukazuje změnu posilovacího účinku. Posilovací účinek se musí snižovat se zvyšující rychlostí.

Na následujícím obrázku je vidět okno programu, kde se posílají dané zprávy do řídicí jednotky EPS. V záložce *Options* musí být nastaveno v možnosti *Device* na *Device#1* a dané nastavení se musí uložit pomocí záložky *Save options*. V záložce *Senders*, kde se zvolí *File Senders* a načte se komunikace, nastaví se rychlost posílání CAN zpráv na 10 ms a spustí se program pomocí možnosti *Run*.



Obrázek 27 Vysílací strana



Obrázek 28 Přijímací strana

Na obrázku přijímací strany se nastaví v záložce *Options* a v možnosti *Device* na *Device#0*, dané nastavení se uloží pomocí záložky *Save options*. V dalším kroku se spustí záložka *CAN protocols* a v ní možnost *Fabia Monitor*. Ve volbě *Fabia Monitor*

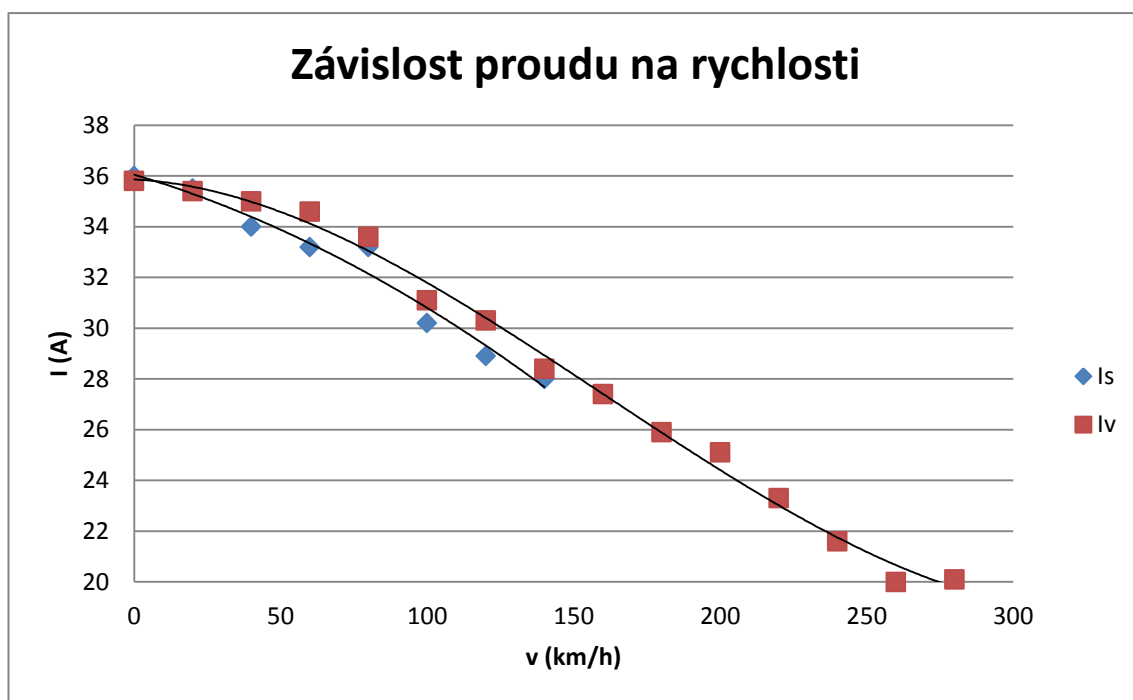
musí být nastaveno *Fabia motor CAN Bus*, aby bylo možné sledovat změnu fyzikálních veličin jako je virtuální rychlost automobilu a virtuální otáčky motoru.

5.3.1 Měření klešťovým ampérmetrem CEM DT-9701

Pro měření klešťovým ampérmetrem není třeba rozpojovat obvod, stačí jen obejmout vodič, kterým protéká proud. Základem tohoto zařízení je měřicí transformátor proudu, který lze otevřít pomocí izolovaných rukojetí a poté se v tomto prostoru nachází vodič pro měření. Sekundární vinutí se nachází na magnetickém obvodu, na kterém je navinuto a spojuje se s menším magnetoelektrickým usměrňovačem. V magnetoelektrickém ampérmetru se nacházejí stupnice cejchované v elektrických proudech podle určitých rozsahů ampérmetru. Rozsah tohoto zařízení se mění na sekundárním vinutí, kdy se přepínají jednotlivé odbočky podle zvolených rozsahů. Sekundární vinutí se rozkládá po celém rozpětí délky magnetického obvodu, aby nevznikal nepříznivý rozptyl. Dnešní klešťové ampérmetry obsahují převodník analogově digitální, kde číslcový údaj je zobrazen na displeji. Toto zařízení je velmi jednoduché, měří se takto až stovky ampér, ale musí se počítat s větší odchylkou při měření. [6]

Tabulka 2 Měření proudu v závislosti na rychlosti automobilu

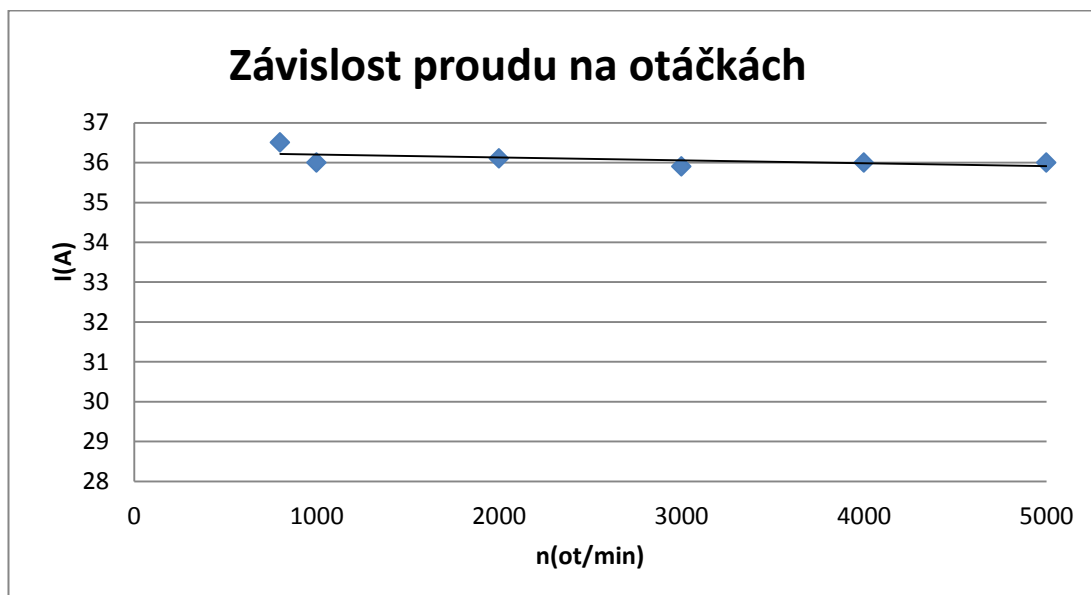
v (km/h)	I _s (A)	I _v (A)
0	36	35,8
20	35,5	35,4
40	34	35
60	33,2	34,6
80	33,2	33,6
100	30,2	31,1
120	28,9	30,3
140	28	28,4
160	-	27,4
180	-	25,9
200	-	25,1
220	-	23,3
240	-	21,6
260	-	20
280	-	20,1



Obrázek 29 Závislost proudu na rychlosti

Tabulka 3 Naměřené hodnoty proudu při různých otáčkách

n (ot/min)	800	1000	2000	3000	4000	5000
I (A)	36,5	36	36,1	35,9	36	36



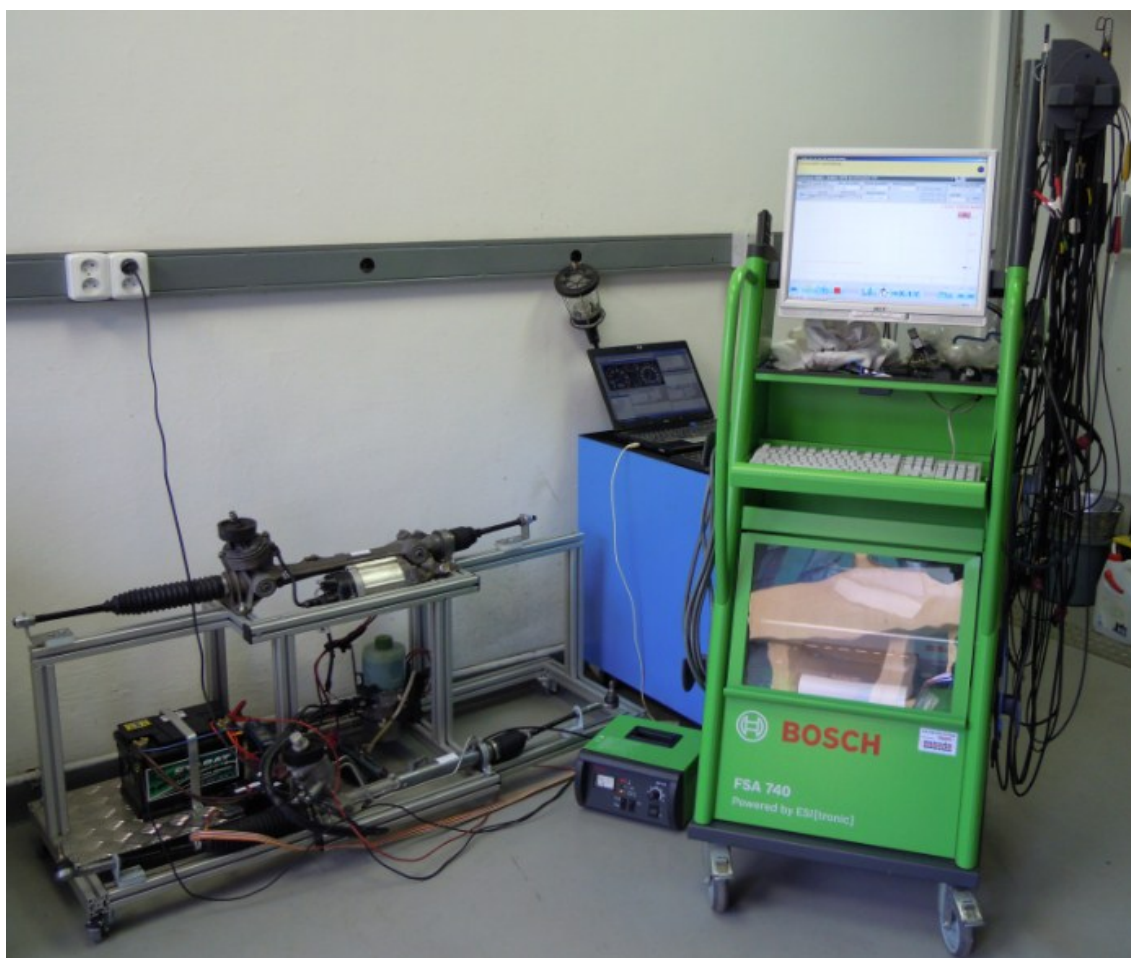
Obrázek 30 Závislost proudu na otáčkách

Z naměřených průběhů je patrné, že při zvyšující se rychlosti klesá posilovací účinek, neboli naměřený proud. Změna otáček motoru posilovací účinek neovlivňuje. U

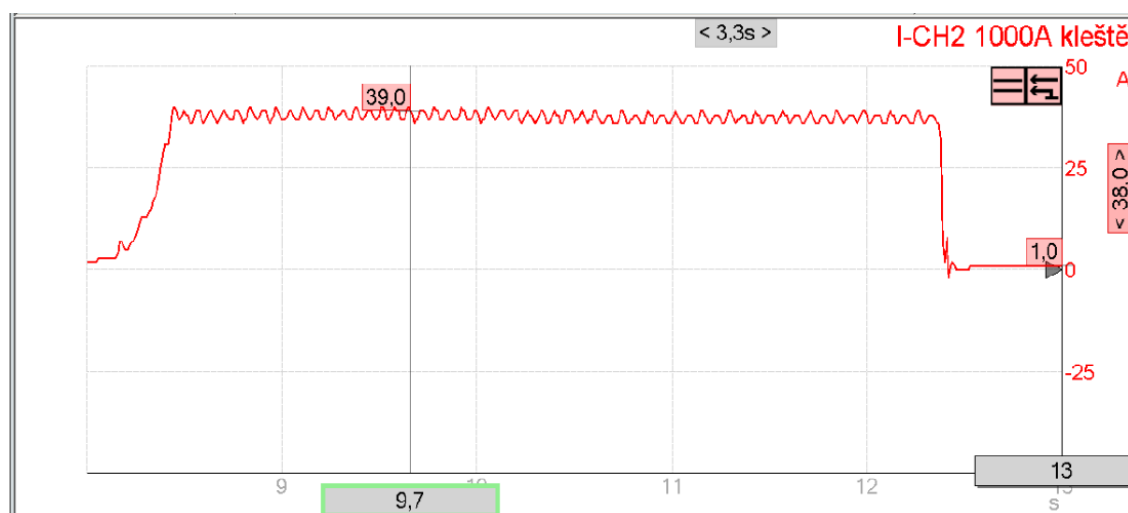
měření elektrického proudu při změně rychlosti automobilu, jsou porovnány hodnoty proudů do rychlosti 140 km/h z komunikace reálné a komunikace nasimulované. Hodnoty proudů z obou komunikací přibližně odpovídají, mírné odchylky jsou způsobeny nekonstantní zátěží. Pro rychlosti automobilu nad 140 km/h byly nasimulovány virtuální bloky, které se vytvořily po analýze reálné sběrnice CAN Bus. Hodnota proudu se snižuje až do rychlosti 260 km/h. Pro vyšší rychlosti zůstává hodnota proudu konstantní. Servořízení EPS odebírá zanedbatelný proud, pokud není v pohybu.

5.3.2 Měření pomocí Bosch FSA 740

Zařízení Bosch FSA 740 je univerzální komplexní systém, který obsahuje prvky sériové i paralelní diagnostiky. Systém integruje výkonnou měřicí techniku, tj. osciloskop s vysokou vzorkovací frekvencí a multimetr. Nachází se na pojízdném stojanu tak, aby se s tímto zařízením dalo snadno manipulovat. [2]

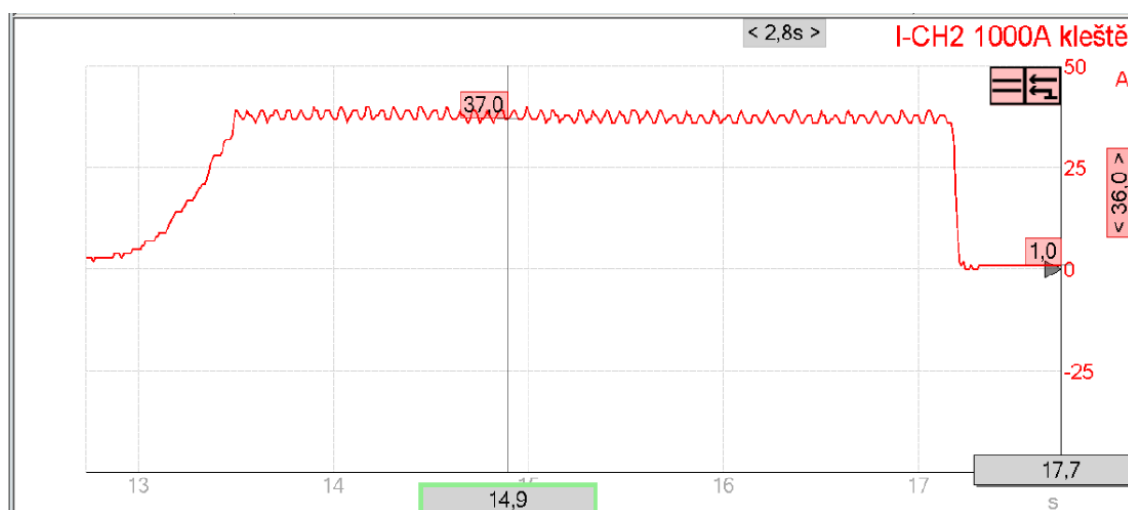


Obrázek 31 Měřicí stanoviště

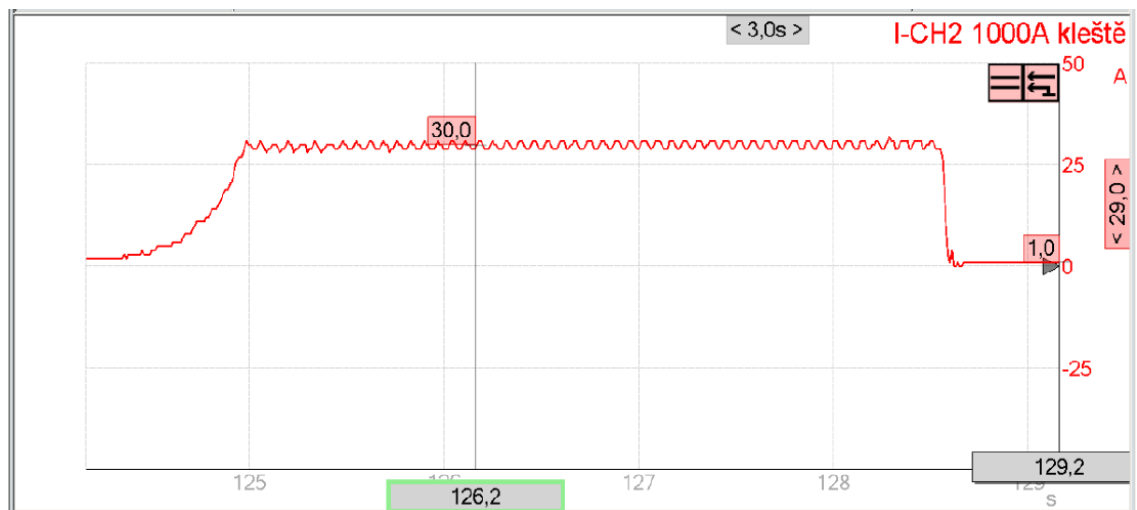


Obrázek 32 Posilovací účinek při 0 km/h

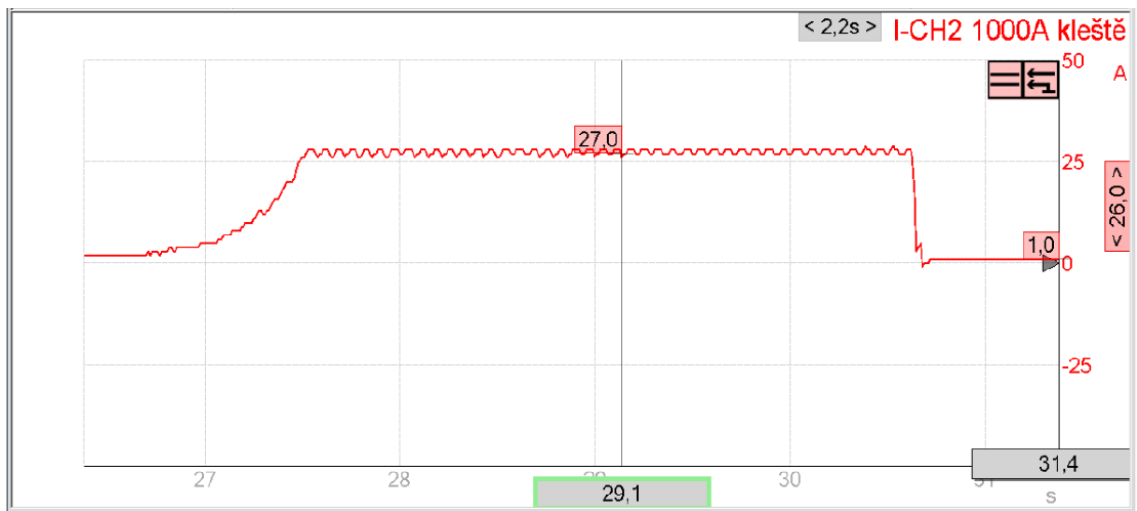
Při nulové rychlosti je vidět největší posilovací účinek přibližně 39 A. Servořízení EPS začne odebírat proud až při zátěži, jinak má zanedbatelnou hodnotu, protože se nepohybuje, ale je v aktivním režimu. Zvlnění proudu motoru je způsobeno indukčností a zpětnovazebnou regulací proudu. Na tomto průběhu je vidět, že volantem se otáčelo pomalu a nevznikl překmit.



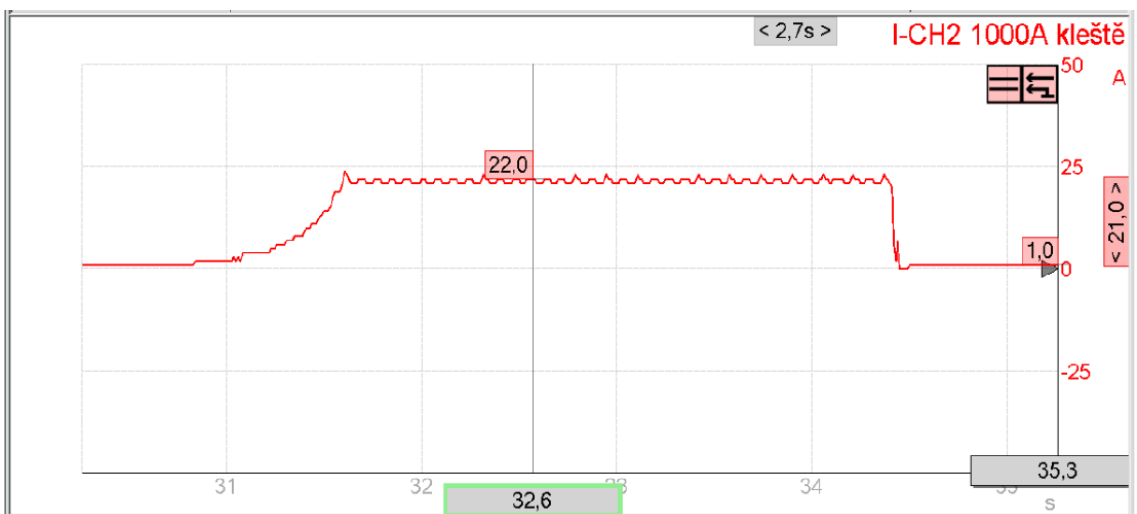
Obrázek 33 Posilovací účinek při 60 km/h



Obrázek 34 Posilovací účinek při 140 km/h

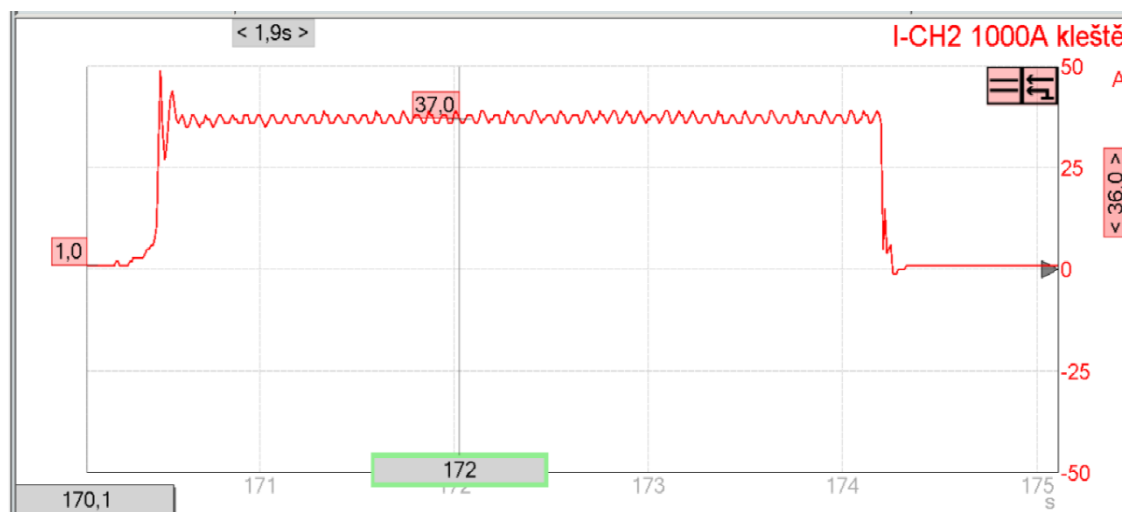


Obrázek 35 Posilovací účinek při 180 km/h



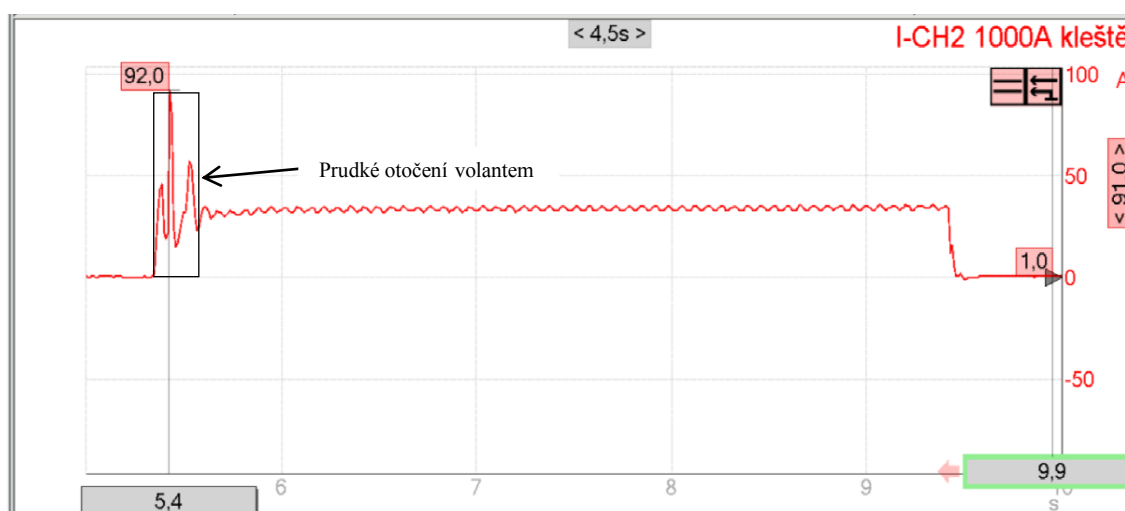
Obrázek 36 Posilovací účinek při 260 km/h

Z předešlých čtyř zachycených průběhů lze vyčíst, že proud odebíraný motorem při vyšších rychlostech se snižuje. Servořízení ZF s nastavenou rychlostí 60 km/h odebírá nižší proud 37 A, při 140 km/h 30 A, při 180 km/h 27 A a při maximální rychlosti 260 km/h je nejnižší, pouhých 22 A. Při měření byla použita 1000 A proudová sonda s maximálním jmenovitým stejnosměrným napětím 300 V.



Obrázek 37 Posilovací účinek při 5000 ot/min

Změna otáček nemění posilovací účinek, neboli odebíraný proud. Mírné odchylky jsou způsobeny nepřesností měření. Odebíraný proud při 5000 ot/min se pohybuje okolo 37 A, což odpovídá volnoběžným otáčkám.

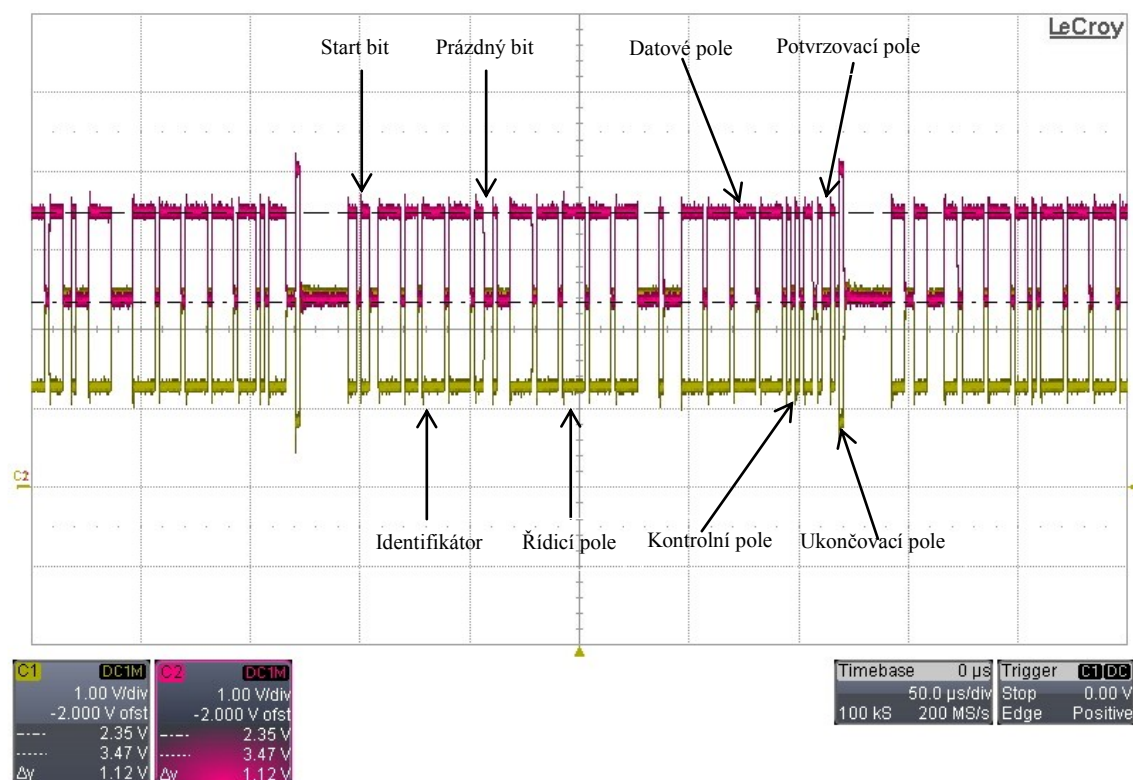


Obrázek 38 Proudová špička při prudkém otočení volantu

Když řidič otočí prudce volantem, vznikla v našem případě proudová špička 92 A. Z tohoto průběhu je nejpatrnější zpětnovazebná regulace proudu. Při prudkém otočení volantem vznikl velký překmit, který se ustálil za 0,5 s na hodnotu přibližně 37 A, což jsou opět přibližně volnoběžné otáčky.

Při měření na osciloskopu se projevila nepřesnost klešťového ampérmetru přibližně 2 A. Další nepřesnost je nekonstantní zátěž. Zátěž se simuluje krajní polohou servořízení pomocí 15 mm klíče trháku.

5.4 Zobrazení CAN zprávy



Obrázek 39 Zobrazení datové zprávy CAN

CAN zpráva je zobrazena na osciloskopu LeCroy, kde jdou vidět jednotlivé rámce zprávy jako start bit, identifikátor, prázdný bit, řídicí pole, datové pole, kontrolní pole, potvrzovací pole a ukončení pole. Ukončovací pole má větší napěťovou úroveň než ostatní zprávy tak, aby byl zřejmý konec datové zprávy. Komunikace má přenosovou rychlost 500 kbit/s. V horní části obrazovky se nachází kanál CAN- H a ve spodní části obrazovky druhý kanál CAN- L. Oba kanály jsou k sobě diferencially otočené a jdou na nich vidět jednotlivé datové rámce.

5 Závěr

Cílem této práce bylo zpracovat teoretickou rešerši, týkající se problematiky servořízení pro motorová vozidla. Práce zahrnuje principy řešení servořízení, analýzu sběrnice CAN vozidla Škoda Octavia II na elektronický systém servořízení. Cílem bylo také provést návrh a zrealizovat laboratorní model servořízení ZF, provést měření na modelu a vypracovat z něj vzorový protokol k měření v předmětu Automobilová elektronika.

Servořízení se dělí dle třech základních typů na hydraulické, elektrohydraulické a elektronické, jak bylo popsáno v kapitole 2. Použité servořízení ZF je elektronické a vyznačuje se nízkým třením, nízkým hlukem, vysokou přesností s rychlou odezvou, vysokou účinností a pružně reaguje na jakémkoliv technické prostředí a situace řízení. Pro regulaci servořízení ve vozidle i na laboratorním modelu slouží mikrokontrolér, který přijímá data ze snímačů o způsobu jízdy a jízdních vlastnostech automobilu. Data ze snímačů putují do řídicí jednotky motoru, v ní se provedou výpočty a na jejich základě pošle řídicí jednotka motoru informace formou datových zpráv do mikrokontroléru servořízení. Ta na jejich základě zpětnovazebně reguluje proud elektromotoru servořízení.

Dalším důležitým krokem bylo analyzovat komunikační sběrnici automobilu, v našem případě analyzovat komunikační sběrnici CAN Bus vozidla Škoda Octavie II, což je uvedeno v kapitole 3. Pro funkčnost modelu bylo potřebné analyzovat skutečnou sběrnici, vytvořit simulační bloky s potřebnými daty pro naše servořízení. Analyzovaná data jsou uvedena v tabulce 4 Datové zprávy servořízení ZF. Všechny získané hodnoty a soubory byly předány vedoucímu diplomové práce na CD z důvodu utajení informací. Prostřednictvím simulačních bloků virtuální komunikace byl vytvořen nástroj pro měření, kterým je možné simulovat různé jízdní situace na vozidle. U servořízení se měří zejména proudové charakteristiky, které se mění v závislosti na rychlosti a ukazují změnu posilovacího účinku.

V konstrukční části byl kladen velký důraz na účelnost tohoto servořízení a při tvorbě rámu byla nutná jeho vysoká pevnost a tuhost rámu, zohledněna byla i cena vytvořené konstrukce. Dále pak byla ověřena funkčnost laboratorního modelu, která se shodovala s teoretickými předpoklady. Měřila se změna proudu v závislosti na rychlosti,

kde naměřené hodnoty elektrického proudu klesaly se zvyšující se rychlostí. Měření hodnot elektrického proudu se provádělo klešťovým ampérmetrem i osciloskopem. Při měření klešťovým ampérmetrem byla zjištěna velká odchylka. U měření osciloskopem s proudovou sondou se zjistilo to, že servořízení pracuje se zpětnovazebnou regulací proudu, kterou lze nejlépe vidět na proudové špičce při prudkém otočení volantu (viz. kapitola 5).

Čtvrtý bod zadání vzorový protokol měření v předmětu Automobilová elektronika byl umístěn do příloh. Bylo provedeno kompletní vypracování vzorového protokolu. Tento bod zahrnuje zadání laboratorní úlohy, použité přístroje, teoretický rozbor úlohy, postupy při měření, samotné měření, vykreslení změřených charakteristik do grafů a jejich zhodnocení.

Diplomová práce kladla specifické nároky na všestrannou znalost týkající se elektronických systémů a komunikačních sběrnic osobních automobilů, jejich zjednodušení pro uživatele, lepší využití funkčnosti, optimalizaci funkcí. Byly využity znalosti získané pětiletým studiem na oboru mechatronika. Teoretické znalosti byly ověřeny laboratorními měřeními a vytvořením funkčního laboratorního modelu, byla dána možnost rozvíjet tento systém dalším studentům.

Seznam použité literatury

- [1] AGCO [online]. [cit. 2013-04-30]. Dostupné z: http://www.agcoauto.com/content/news/p2_articleid/214
- [2] Autopříslušenství / Autodiagnostika. In: *Bosch.cz* [online]. 2004 [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: http://press.bosch.cz/detail.asp?f_id=350
- [3] Autopříslušenství prvovýbava. In: *Bosch.cz* [online]. 2011 [cit. 2013-04-20]. Dostupné z: http://press.bosch.cz/detail.asp?f_id=973
- [4] *Elektrohydraulické servořízení: přehled systému* [online]. [cit. 2013-04-15]. Dostupné z: <http://upload.ebastlirna.cz/redirect.php?dlid=553&ENGINEsessID=f847f035490196b5f15acb0ac46d8709>
- [5] Elektronický posilovač řízení. In: *Vw-uzitkove.cz* [online]. © 2011-2013 [cit. 2013-04-22]. Dostupné z: http://app.vw-uzitkove.cz/lexikon/?letter=e&lexicon_id=26
- [6] Klešťové ampérmetry. In: *Elektrika.cz* [online]. © 1998-2013 [cit. 2013-04-30]. Dostupné z: <http://elektrika.cz/data/clanky/clanek.2006-02-19.2440432907>
- [7] Podvozkové centrum APM Bilstein - 3. díl: řízení. In: *AutoPROFITEAM: servisní koncept společnosti APM Automotive* [online]. 10.12.2009 [cit. 2013-03-25]. Dostupné z: <http://www.autoprofiteam.cz/article.php?artid=470>
- [8] Posilovač řízení. In: *AUTOHIT.cz* [online]. 22.01.2012 [cit. 2013-04-10]. Dostupné z: <http://www.autohit.cz/novinky/auto/technika-posilovace-rizeni>
- [9] Posilovač řízení: servořízení, hydraulický posilovač řízení, elektronický posilovač řízení. In: *ZÁKRUTA.CZ* [online]. [cit. 2013-04-17]. Dostupné z: <http://www.zakruta.cz/slovník-pojmu/pojem/posilovac-rizeni>

- [10] *Řízení s posilovačem* [online]. [cit. 2013-03-22]. Dostupné z: http://mechmes.websnadno.cz/dokumenty/pri-teo-11.04_rizeniautomobilu_posilovacerizeni.pdf
- [11] Sběrnice a komunikace FlexRay nejen pro automobily. In: *Automatizace.hw.cz* [online]. © 1997-2009 [cit. 2013-02-25]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/sbornice-komunikace-flexray-nejen-pro-automobily>
- [12] Sběrnice CAN. In: *Elektrorevue.cz* [online]. 16.6.2003 [cit. 2013-03-06]. Dostupné z: <http://www.elektrorevue.cz/clanky/03021/index.html>
- [13] ŠTĚRBA, Pavel, Jiří ČUPERA a Adam POLCAR. *Automobily: diagnostika motorových vozidel II*. 1. vyd. Brno: Avid, 2011, 181 s. ISBN 978-80-87143-19-3.
- [14] ŠTĚRBA, Pavel. *Elektrotechnika motorových vozidel: praktická příručka*. 1. vyd. Brno: Computer Press, 2008, 174 s. ISBN 978-80-251-2114-6.
- [15] USB2CAN. In: *CAN-LAB* [online]. [cit. 2013-04-27]. Dostupné z: http://www.rs.canlab.cz/?q=cs/usb2can_interface
- [16] Úvod. In: *CAN-LAB* [online]. [cit. 2013-04-07]. Dostupné z: <http://www.rs.canlab.cz/?q=cs>
- [17] VLK, František. *Elektronické systémy motorových vozidel*. 1. vyd. Brno: František Vlk, 2002. 2 sv. (298 s., s. 299-592). ISBN 80-238-7282-6.
- [18] *ZF Servolectric* [online]. [cit. 2013-02-05]. Dostupné z: http://www.zf-lenksysteme.com/uploads/media/Servolectric_E_09.pdf

Seznam obrázků

<i>Obrázek 1</i>	<i>Hydraulické servořízení [1]</i>	<i>9</i>
<i>Obrázek 2</i>	<i>Elektrohydraulické servořízení [4]</i>	<i>10</i>
<i>Obrázek 3</i>	<i>Zjednodušené schéma zapojení EPS</i>	<i>12</i>
<i>Obrázek 4</i>	<i>Princip elektronického servořízení [18]</i>	<i>12</i>
<i>Obrázek 5</i>	<i>Servořízení ZF na sloupku řízení [18]</i>	<i>13</i>
<i>Obrázek 6</i>	<i>Servořízení ZF s dvojitým pastorkem [18]</i>	<i>15</i>
<i>Obrázek 7</i>	<i>Servořízení ZF paralelních os [18]</i>	<i>16</i>
<i>Obrázek 8</i>	<i>Principiální blokové schéma ECU servořízení</i>	<i>17</i>
<i>Obrázek 9</i>	<i>Řídicí jednotka servořízení [18]</i>	<i>17</i>
<i>Obrázek 10</i>	<i>Princip snímače [18]</i>	<i>18</i>
<i>Obrázek 11</i>	<i>Snímač točivého momentu [18]</i>	<i>19</i>
<i>Obrázek 12</i>	<i>Připojení řídicích jednotek na CAN sběrnici</i>	<i>21</i>
<i>Obrázek 13</i>	<i>Hardwarové řešení CAN sběrnice</i>	<i>22</i>
<i>Obrázek 14</i>	<i>Datový rámec CAN zprávy [12]</i>	<i>23</i>
<i>Obrázek 15</i>	<i>USB2CAN adaptér [15]</i>	<i>24</i>
<i>Obrázek 16</i>	<i>Okno programu</i>	<i>26</i>
<i>Obrázek 17</i>	<i>Zjednodušené schéma připojení pro nahrání komunikace</i>	<i>26</i>
<i>Obrázek 18</i>	<i>Příklad části reálné komunikace</i>	<i>27</i>
<i>Obrázek 19</i>	<i>Původní rám</i>	<i>29</i>
<i>Obrázek 20</i>	<i>Profil rámu</i>	<i>30</i>
<i>Obrázek 21</i>	<i>Přídavný rám</i>	<i>30</i>
<i>Obrázek 22</i>	<i>Přidržovací jezdec</i>	<i>31</i>
<i>Obrázek 23</i>	<i>Konečná podoba laboratorního modelu</i>	<i>33</i>
<i>Obrázek 24</i>	<i>Schéma zapojení modelu</i>	<i>34</i>
<i>Obrázek 25</i>	<i>Popis konektorů servořízení EPS</i>	<i>34</i>
<i>Obrázek 26</i>	<i>Diagnostická přípojka EOBD</i>	<i>35</i>
<i>Obrázek 27</i>	<i>Vysílací strana</i>	<i>37</i>
<i>Obrázek 28</i>	<i>Přijímací strana</i>	<i>37</i>
<i>Obrázek 29</i>	<i>Závislost proudu na rychlosti</i>	<i>39</i>
<i>Obrázek 30</i>	<i>Závislost proudu na otáčkách</i>	<i>39</i>
<i>Obrázek 31</i>	<i>Měřicí stanoviště</i>	<i>40</i>
<i>Obrázek 32</i>	<i>Posilovací účinek při 0 km/h</i>	<i>41</i>
<i>Obrázek 33</i>	<i>Posilovací účinek při 60 km/h</i>	<i>41</i>
<i>Obrázek 34</i>	<i>Posilovací účinek při 140 km/h</i>	<i>42</i>
<i>Obrázek 35</i>	<i>Posilovací účinek při 180 km/h</i>	<i>42</i>
<i>Obrázek 36</i>	<i>Posilovací účinek při 260 km/h</i>	<i>42</i>
<i>Obrázek 37</i>	<i>Posilovací účinek při 5000 ot/min</i>	<i>43</i>
<i>Obrázek 38</i>	<i>Proudová špička při prudkém otočení volantu</i>	<i>43</i>
<i>Obrázek 39</i>	<i>Zobrazení datové zprávy CAN</i>	<i>44</i>

Seznam tabulek

<i>Tabulka 1</i> Datové zprávy servořízení ZF	28
<i>Tabulka 2</i> Měření proudu v závislosti na rychlosti automobilu.....	38
<i>Tabulka 3</i> Naměřené hodnoty proudu při různých otáčkách	39

Seznam příloh

Příloha 1.: Laboratorní úloha 1. Měření vlastností elektrického servořízení ZF